

TEKNILLINEN KORKEAKOULU  
Puunjalostustekniikan osasto

Antti Aikala

UUDEN LABORATORIOKEITTIMEN SUUNNITTELU,  
TOTEUTUS JA KÄYTTÖÖNOTTO

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-  
insinöörin tutkintoa varten Espoossa 10. 8. 2000.

Työn valvoja: Professori Panu Tikka

Työn ohjaaja: Professori Johan Gullichsen

TEKNILLINEN KORKEAKOULU  
Puunjalostustekniikan osasto  
Kirjasto



Tekijä	Päiväys
Antti Aikala	10. 8. 2000
	Sivumäärä
	75
Työn nimi	
Uuden laboratoriokeittimen suunnittelu, toteutus ja käyttöönotto	
Professuuri	Koodi
Selluloosatekniikka	Puu-23
Työn valvoja	
prof. Panu Tikka	
Työn ohjaaja	
prof. Johan Gullichsen	
<p>Työn kirjallisuusosassa käydään läpi kemiallisen massanvalmistuksen tutkimuksessa käytetyt laboratoriokeittimet sekä esitellään eri keittotapoja näillä keittimillä. Kokeellinen osa käsittää kuvauksen uuden laboratoriokeittämön käyttöönotosta.</p> <p>Laboratoriokeittojen käyttöä tehdaskokeiden sijasta puoltavat tutkimuskohteista riippuen mm. seuraavat tekijät: Tehdaskokeiden laatu- ja toimintariskit tuotannolle, tehtaan toimintahäiriöiden vaikutukset kokeisiin ja kokeissa käytetyn hakkeen kuiva-aineen hankala arviointi, mikä johtaa epävarmuuteen todellisesta saannosta ja kemikaaliannostuksista.</p> <p>Laboratoriokeittoihin on käytetty autoklaaveja sekä keittonesteen kierrätystä käyttäviä laboratoriokeittimiä. Autoklaaveja lämmitetään lämmittämällä keittimen vaippaa joko haudeaineen välityksellä tai sähkövastuksin. Keittimien sisältöä sekoitetaan pyörittämällä keittimiä. Pienimmät, 0,15 - 2,5 litran laboratoriokeittimet ovat useinmiten haudelämmitystä käyttäviä autoklaaveja, näistä yleisimmät ovat ilma- ja öljyhaudekeittimet. Pienillä hakemäärillä hakkeiden heterogeenisuus lisää tulosten hajontaa merkittävästi, toisaalta näillä keittimillä voidaan tutkia hakkeita, jotka vaativat työläitä käsittelyjä, tai joita on käytössä vain hyvin rajallinen määrä. Suurimpia autoklaaveja lämmitetään hauteen sijasta keitinkohtaisesti sähkövastuksilla ja niitä kutsutaan sekoitustavansa mukaan pyöriviksi keittimiksi. Yksinkertaisen rakenteensa takia autoklaaveja käytetään paljon mm. perinteisen eräkeiton jäljittelyyn ja happidelignifiointeihin. Keittonesteen kierrätystä käyttävistä keittimistä pakkokiertokeitinten lämmitys perustuu pelkästään kiertoliuoksen lämmitykseen, kun taas läpivirtaus- ja syrjäytyskeittimissä käytetään samanaikaista kiertoliuoksen ja keittimen reunojen lämmityksen yhdistelmää. Keittimien liuoskiertoon voidaan liittää helposti kemikaalien keiton aikainen syöttö- ja ulosottomahdollisuus, joten pakkokierto- ja syrjäytyskeittämöt soveltuvat autoklaaveja paremmin modifioitujen keittojen jäljittelyyn.</p> <p>TKK:n uudeksi keittimeksi valittiin syrjäytyskeittämö, koska sillä pystytään jäljittelemään tehokkaasti eri sellunvalmistusprosesseja. Modifioiduissa prosesseissahan lipeät syötetään keittoihin useissa eri vaiheissa ja prosesseissa esiintyy mm. hitaita neste-nestesyrjäytyksiä, joiden simuloimiseen syrjäytyskeittämö sopii hyvin. Uusi keitin on 25 litran hakekorillaan huomattavasti laboratorion muita keittimiä suurempi, mikä pienentää raaka-aineen vaihtelusta aiheutuvaa tulosten hajontaa ja suurempi massamäärä on sopiva tehdasjauhimia simuloiville laboratoriojauhimille.</p> <p>Sisäänajokeittoina tehtiin mm. neljän SuperBatch-keiton keittosarja. Sarjassa tutkittiin imeytyspaineen laskun ja höyrytyksen käyttöönoton merkitystä SuperBatch-keiton keittotulokseen. Referenssikeitossa imeytyspaine oli 9 baaria, kappaluku n. 25 ja rejektin määrä 0,4 %. Imeytyspaineen lasku nosti hieman rejektin määrää. Sen sijaan höyrytyksellä ei ollut vaikutusta mitattuihin massan ominaisuuksiin.</p>	
Avainsanat	Kieli
laboratoriokeitin, laboratoriokeite, autoklaavi	Suomi



Author	Date
Antti Aikala	August, 10, 2000
	Pages
	75
Title of Thesis	
The design and implementation of the new laboratory digester.	
Chair	Chair Code
Pulping technology	Puu-23
Supervisor	
Professor Panu Tikka	
Instructor	
Professor Johan Gullichsen	
<p>The literary part of this study concentrates on laboratory digesters used in the research of chemical pulping and presents how these digesters can be used in different ways for pulping. The experimental part includes a description of how a new laboratory digester house is brought into use.</p> <p>Depending on the study following factors support the usage of laboratory cookings instead of mill scale experiments: the quality and production risks included in mill scale experiments, possible troubles in the mill influencing the experiments, and the difficult determination of the dry matter content used in the experiments which leads to insecurity about the real yield and chemical dosages.</p> <p>Laboratory cookings are made by using autoclaves and laboratory digesters circulating the cooking liquor. The autoclaves are warmed up by warming the jacket of the digester either by bath or by electrical coils. The content is mixed by rotating the digesters. The smallest, 0,15-2,5 liter laboratory digesters are usually autoclaves warmed up by bath, most common ones being the air or oil bath digesters. With small amounts of chips the heterogenousness of the chip material increases the deviation remarkably; on the other hand, these digesters are practical when studying chips that are difficult to prepare or when there is a limited amount of chips available. The biggest autoclaves are warmed up by using electrical coils instead of baths and they are called rotating digesters by the way the content is mixed. Because of their simple structure, autoclaves are much used for oxygen delignifications and for simulating the traditional batch cook. Among digesters using the circulation of the cooking liquor, the heating of forced circulation digester is solely based on warming the circulating liquor, whereas flow through reactors and liquor displacement digesters are heated by using the combination of the simultaneous warming of circulation liquor and the wall of the digester. Because the liquor circulations can easily combine with liquor input and output, the forced circulation and liquor displacement digester houses are better suited for the modified cooking simulations.</p> <p>The liquor displacement digester was chosen as the new digester for HUT because it is efficient in simulating the chemical pulping processes. In modified processes cooking liquors are added to the cookings at many different points and they include slow liquor displacements which can be simulated by the displacement digester house very well. The new digester has a 25 liter chip basket and is thus bigger than any other digester in the laboratory, which decreases the deviation of the results caused by the variation of the chip raw material. The bigger amount of the produced pulp is also suitable for laboratory refiners simulating mill refiners.</p> <p>The first cookings included for example a series of four SuperBatch cookings. In this series, the decrease of impregnation pressure and the usage of steaming was studied. In the reference cook the impregnation pressure was 9 bars, kappa number approximately 25 and the amount of rejects 0,4 %. The decrease of impregnation pressure increased slightly the amount of reject, however the usage of steaming did not influence the measured pulp properties.</p>	
Keywords	Language
laboratory digester, laboratory experiment, autoclave	Finnish



## ALKUSANAT

Tässä diplomityössä otettiin käyttöön Teknillisen Korkeakoulun Puunjalostekniikan osaston uusi laboratoriokeittämo.

Työn ohjaajana toimi professori Johan Gullichsen ja työn valvojana professori Panu Tikka. Heitä haluan kiittää heidän osoittamastaan kiinnostuksesta työtäni kohtaan.

Lisäksi haluan kiittää Teknillisen Korkeakoulun Selluloosatekniikan laboratorion henkilökuntaa saamastani avusta ja kannustuksesta. Kiitos myös Puunjalostustekniikan osaston verstaan henkilökunnalle. Kiitän myös Lännen Laboratorioita tilaisuudesta päästä tutustumaan laboratoriomitan syrjäytyskeittoihin. Erityiskiitos Anja Lemiselle, KCL, ja Jouni Ellménille, TKK, lukuisista neuvoista.

Mari Niittysalolle kiitos käännösavusta. Maijulle kiitos tuesta ja kannustuksesta ja Annille olemassaolosta.

Espoossa 10.8.2000



Antti Aikala



# SISÄLLYSLUETTELO

<b>1</b>	<b>Johdanto</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Yleistä</b>	<b>5</b>
2.1	Laboratoriokeitoissa tehdaskeittoa jäljiteltävät asiat	5
2.1.1	Tehdaskeittojen simulointi	5
2.1.2	Tehdaskeittoja simuloimattomat keitot	6
2.2	Tehdaskokeet laboratoriokeittojen vaihtoehtona	6
2.2.1	Tehdaskokeiden edut ja haitat laboratoriokeittoihin nähden	6
2.2.2	Hakekorikeitot	7
2.3	Keskeisimmät tekijät tehdaskeittojen simuloinneissa	9
2.3.1	Käytettävät hakkeet	9
2.3.2	Hakkeiden pakkausaste	9
2.3.3	Hakkeiden kokoonpuristuminen	10
2.3.4	Lipeäkierron nopeus tehdas- ja laboratoriokeittimissä	11
2.3.5	Keitinten sisäiset keittymiserot eli anomalia	12
2.3.6	Keittimen tyhjennystapa	13
2.3.7	Keiton lujuussaanto	13
2.3.8	Massan käsittely	14
2.3.9	Lipeiden kierrätykset ja ainetaseet	15
2.4	Laboratoriokeitinten koko	16
2.4.1	Keitinkokojen vaihtelu	16
2.4.2	Keitinkoon merkitys keittotulosten hajontaan	16
2.4.3	Keitinkoko massamäärän suhteen	16
2.4.4	Keitinkoon merkitys lämmönsiirtoon	17
<b>3</b>	<b>Erilaiset laboratoriokeitimet</b>	<b>18</b>
3.1	Keitinten jaotteluperusteet	18
3.2	Autoklaavit	18
3.2.1	Pyörivät keittimet	19
3.2.2	Ilma-, vesi- ja öljyhaudekeitimet	19
3.3	Pakkokiertokeitin	20
3.4	Keittoastian suoraan sähkölämmitykseen perustuva pakkokiertokeitin	22
3.5	Mikrokeitinlaitteisto	23
3.5.1	Laitteiston kuvaus	23
3.5.2	Mikrokeitimen käyttötavat, pommi- ja pakkokiertokeitot	24
3.5.3	Sopivuus eri tutkimuskohteisiin	25
3.5.4	Keittojen tasaisuus keittosaannon perusteella arvioituna	25
3.6	Läpivirtauskeitin	26
3.7	Öljyhaude-sarjakeitin 'Amalia'	27
3.8	Vesivaipallinen syrjäytyskeitin	28
3.8.1	Syrjäytyskeitimen rakenne	28
3.8.2	Vaipallisen syrjäytyskeitimen lämmönsäätö	30
3.8.3	Syrjäytystehokkuuksiin vaikuttavia asioita	30
3.8.4	Suomessa asennetut vaipalliset syrjäytyskeitimet	30
<b>4</b>	<b>Yhteenveto eri laboratoriokeitintyypeistä</b>	<b>31</b>
<b>5</b>	<b>uuden keittämön suunnittelu ja käyttöönotto</b>	<b>32</b>
5.1	Suunnittelun lähtökohdat	32
5.1.1	Keitintyyppin valinta	32
5.1.2	Keittimen koko	32
5.1.3	Rakennustapa ja sijoitus	33
5.1.4	Keittimen automaatiojärjestelmä	33
5.2	Laitteiston käyttöönotto	33
5.2.1	Venttiilien tarkastus ja säätö	33
5.2.2	Pumppujen tarkastus	34
5.2.3	Paineastiatarkastukset	34



<b>6</b>	<b>Keittämön laitteet ja rakenne</b>	<b>34</b>
<b>6.1</b>	<b>Syrjäytyskeittimen lipeäkierto ja lämmönsäätö</b>	<b>34</b>
6.1.1	Lipeäkierto ja lämmönsäätö perinteisessä keitossa	36
6.1.2	Lipeäkierto ja lämmönsäätö syrjäytyksissä	36
6.1.3	Lämmönsäätö 'potkussa'	37
6.1.4	Vaipanesteen kierto kuumavesiakun kautta	37
<b>6.2</b>	<b>Keittimen pinnanmittaus sekä pinnan- ja paineensäätö</b>	<b>38</b>
6.2.1	Keittimen pinnankorkeuden mittaus	38
6.2.2	Keittimen pinnankorkeuden merkitys keiton suoritukseen	39
6.2.3	Nestepinnan korkeuteen vaikuttavat tekijät vakionestemäärillä	39
6.2.4	Keittimen nestepinnan säätö syrjäytyksissä	40
6.2.5	Keittimen paineen säätö	40
<b>6.3</b>	<b>Keittämön linjat ja säiliöt</b>	<b>40</b>
<b>6.4</b>	<b>Keittämön pumpput ja pumppausnopeudet</b>	<b>41</b>
6.4.1	Mäntäpumpput P-K2 ja P-WL	42
6.4.2	P-CD	44
6.4.3	Keskipakopumpput	45
6.4.4	Paineilmatoiminen kemikaalipumppu	45
<b>7</b>	<b>Keittämön ohjausjärjestelmä ja mittaukset</b>	<b>46</b>
<b>7.1</b>	<b>Keittämön eri laitteiden liityntä säätöjärjestelmään</b>	<b>46</b>
<b>7.2</b>	<b>Säätöjärjestelmän ohjelmointi ja testaus</b>	<b>46</b>
7.2.1	Lohkoeditori ja lohkohierarkia	47
7.2.2	Positiolohkon rakenne ja ohjelmointi	47
7.2.3	Positiolohkojen alilohkot	48
<b>7.3</b>	<b>Keittämön ohjaus käyttöliittymästä</b>	<b>48</b>
7.3.1	Tarkasteluikkunat ja niiden parametrit	48
7.3.2	Tarkasteluikkunan laajenne ja sen parametrit	49
7.3.3	Säätö- ja mittausparametrien muuttaminen	50
7.3.4	FILT-suodatusparametri	50
7.3.5	Hälytysparametrit, hälytyksenestokytkin ja hystereesi	50
<b>7.4</b>	<b>PID-säätimet</b>	<b>51</b>
7.4.1	PID-säätimien ohjaussuure ja toimuunnat	51
7.4.2	PID-säädinten käyttömoodit, MAN, AUTO ja REM	51
7.4.3	PID-säätimen parametrit K, I ja D	51
<b>7.5</b>	<b>Mittaukset</b>	<b>53</b>
7.5.1	Yleistä mittauksista	53
7.5.2	Säiliöiden pinnanmittaukset ja kalibrointisuorat	53
7.5.3	Lämpötilamittaukset	54
<b>7.6</b>	<b>Tiedonsiirto järjestelmästä Exceliin</b>	<b>55</b>
<b>8</b>	<b>Keittosimulaatiomallit ja sisäänajokeitot</b>	<b>55</b>
<b>8.1</b>	<b>Keittämön ohjeistus ja dokumentointi</b>	<b>55</b>
<b>8.2</b>	<b>Lipeiden kierrätykset edellisistä laboratoriokeitoista</b>	<b>56</b>
<b>8.3</b>	<b>SuperBatch -laboratoriokeittojen sarja</b>	<b>57</b>
8.3.1	Teollinen SuperBatch-prosessi	57
8.3.2	Keittosarjan hake ja lipeät	58
8.3.3	Lipeäsyrjäytysten lämmönsäätö keittosarjassa	58
8.3.4	SuperBatch-laboratoriokeiton suoritus	58
8.3.5	Keittotulokset ja niiden arviointi	61
8.3.6	Keittotulosten hajonta	62
8.3.7	Syrjäytystehokkuudet laboratoriokeitoissa	62
8.3.8	Laitteiston käytettävyyys sisäänajokeitoissa	63
<b>9</b>	<b>Ehdotukset jatkokehityskohteiksi</b>	<b>65</b>
<b>9.1</b>	<b>Laitteiston kehitys</b>	<b>65</b>
9.1.1	Paineilmatoiminen kemikaalipumppu	65
9.1.2	Lipeälinjat ja -säiliöt	65



9.1.3	Massankäsittelylinja	66
9.2	Syrjäytystehokkuuksien selvitys	66
9.3	Keittämön automaation parannuskohteet	67
9.3.1	Automaattinen tallennus säätöparametreille	67
9.3.2	Käytettävyyden kannalta tehtävät parannuskohteet	67
9.4	Keittosimulaatiomallien kehitys	68
9.4.1	Keittokohtaiset ohjeet	68
9.4.2	Keittolipeät	68
9.4.3	Höyrytys	68
9.4.4	Massan käsittely	68
9.4.5	Perinteisen eräkeiton simulointi	69
9.4.6	Syrjäytyseräkeitto	69
9.4.7	Perinteinen vuokeitto (2-astia höyry-nestefaasikeitto)	69
9.4.8	Modifioidun vuokeiton simulointi	70
9.5	Keittämöllä tehtävä toistettavuuskoesarja	70
10	Yhteenveto uudesta keittämöstä	71
	Lähdeluettelo	
	Liitteet	



# 1 JOHDANTO

Sellututkimuksessa keittoja voidaan tutkia teoreettisella tarkastelulla esimerkiksi tietokonesimulaationa tai sitten kokeellisesti tehtaissa tai simuloimalla niitä keittolaboratorioissa pienoismittakaavan keittimillä. Tietokonesimulointi ei ole vieläkaan hallitseva tutkimusmetodi, vaan tutkimus pohjautuu pitkälti keittokokeisiin. Tätä voidaan selittää mm. hakkeiden monimutkaisella rakenteella ja hakkeiden ominaisuuksien suurella vaihtelulla, eli kun yksittäisen hakkeenkaan käyttäytymistä keitossa ei tunneta tarkasti, niin tietokonesimuloidun keiton alkuparametrit jäävät epämääräisiksi. Näin ollen teoreettisen tarkastelun rinnalla suoritettavat keittokokeet ovat säilyttäneet merkittävän asemansa selluloosatekniikan massanvalmistuksen tutkimuksessa.

Tämä diplomityö liittyy selluloosatekniikan laboratorioon hankittavaan uuteen syrjäytyseräkeittämöön. Työssä tarkastellaan ensinnäkin laboratoriokeittoja yleisesti sekä keitintyyppikohtaisesti. Yleisessä tarkastelussa kiinnitetään huomiota mm. siihen mitä keittosimuloinneissa itse asiassa jäljitellään, voidaanko tehdaskokeilla tai hakekorikeitoilla korvata laboratoriokeitot, miten eri tekijät vaikuttavat laboratoriokeittojen onnistumiseen ja mitä merkitystä on keittimen koolla. Keitintyyppikohtaisessa jaottelussa eri laboratoriokeititimet on jaoteltu lähinnä niiden aineen- ja lämmönsiirtotavan mukaan. Loppuosassa diplomityötä kuvataan selluloosatekniikan laboratorion uusi syrjäytyskeitämö, sen suunnitteluperiaatteet, käyttöönotto ja keittämön kehitysohjelma.

## 2 YLEISTÄ

### 2.1 Laboratoriokeitoissa tehdaskeittoa jäljiteltävät asiat

#### 2.1.1 Tehdaskeittojen simulointi

Tehdaskeiton simuloinnissa pyritään jäljittelemään tehdaskeittoa laboratoriomittakaavaisilla keittimillä. Tehdaskeittoa ei kuitenkaan pyritä jäljittelemään kaikilta osin, vaan siitä huomioidaan vain muutamat oleelliset asiat. Käytännön syistä tehdään tietyt vaiheet tarkoituksella tehtaista poikkeavalla tavalla. Esimerkiksi jatkuvatoimista tehdaskeittoa tutkitaan laboratorioissa poikkeuksetta eräkeittimillä. Usein keittokokeissa jäljitellään keittokemikaalien ja lisäysnesteiden annostuksen lisäksi vain keiton lämpötilaprofiilia, jolloin keitto kuvataan esittelemällä seuraavat tekijät: Hakelaji, EA-annos (puusta), valkolipeän sulfiditeetti, keiton H-tekijä, keittolämpötila, nostoaika ja neste-puusuhte. Tällöin keitto yleensä tehdään perinteistä eräkeittotekniikkaa simuloivalla prosessilla, jonka tehdasmittakaavaisesta käytöstä ollaan pitkälti jo luovuttu.

Perinteisen eräkeiton simuloinnin suosio laboratoriomittakaavassa perustuu pitkälti keittotavan yksinkertaisuuteen, mikä taas johtaa mahdollisuuteen tehdä helposti kohtalaisen hyvin toistettavia kokeita luotettavilla ja suhteellisen edullisilla laboratoriolaitteilla. Perinteisen eräkeiton simuloinnista saadaan tietoa, joka soveltuu myös muihin prosesseihin. Esimerkiksi eri hakkeiden väliset keittovyserot eivät välttämättä riipu siitä, mitä sulfaattikeittoprosessia on käytetty. Jatkuvatoimisten ja modifioitujen keittotapojen suosion lisääntyessä on näitä prosessimodifikaatioitakin alettu



simuloimaan käyttämällä lähinnä pakkokiertokeitteimiä tai uudentyyppisiä laboratoriomittakaavan syrjäytyskeitteimiä.

Laajemmin eri tekijöitä huomioivissa tutkimuksissa on jäljitelty mm. pasutusta, keiton paineprofilia imeytyksessä ja keitossa /1/, keittoliuoksen virtausnopeutta hakepalojen ohi /2/ sekä hakepilarin painosta aiheutuvaan hakkeiden kokoonpuristumista /3/. Myös keittimen tyhjennystavan, erityisesti kuumapuskun, merkitystä on pyritty arvioimaan, vaikkei tätä olekaan pystytty kunnolla jäljittelemään keittolaboratorioissa /4/. Kemialliset olosuhteet, eli eri ionien konsentraatiot keittimissä, määräytyvät hakkeiden, kemikaalien ja veden annostuksien sekä keiton suoritustavan perusteella. Huolimatta laboratorio- ja tehdaskeittojen eroista on oletuksena usein ollut, etteivät ne eroa merkittävästi toisistaan kunhan niissä käytetään vain samoja suhteellisia kemikaaliannostuksia ja kun keittojen lämpötilakäyrät ovat samoja.

### *2.1.2 Tehdaskeittoja simuloimattomat keitot*

Erityisesti reaktiokinetiikkatutkimuksissa pyritään eliminoimaan usein tekijöitä, jotka voivat vaikeuttaa tulosten arviointia vaikeasti määriteltävän vaikutuksensa tähden. Esimerkiksi keittoliuoksen konsentraatiot voidaan pitää likimain vakiona läpivirtauskeitoin tai nostamalla neste-puusuhte moninkertaiseksi normaaleihin keittoihin nähden /5, 6/ tai aineensiirron hitauden vaikutus puun delignifioimiseen voidaan osittain eliminoida keittämällä hyvin ohutta haketta /7/. Myös puukemian malliainekeitot voidaan lukea tähän kategoriaan.

George et al. tutkivat, kuinka pieneen kappalukuun voidaan ideaalisella sulfaattikeitolla päästä, kun massan viskositeetti ja siitä mitatut lujuusominaisuudet halutaan pitää konventionaalisesta eräkeitosta saatujen massojen ominaisuuksien tasolla /8/. Tutkimuksessaan he käyttivät tulitikkujen muotoista (4mm\*4mm\*40mm) tasalaatua haketta, sulfiditeetiltaan 100 % valkolipeää ja läpivirtauskeittoa, eli erittäin korkeaa neste-puusuhdetta. Tulokseksi saatiin, että kappaluku voidaan alentaa käytetyillä hakkeilla idealisoidulla prosessilla kolmannekseen perinteisen eräkeiton kappaluusta, ilman massan viskositeettien tai lujuusominaisuuksien laskua /8/.

Tällainen tutkimus on varsinaiseen keittosimulointiin verrattuna selkeämmin perustutkimusta - tarkoituksena on ennemminkin lisätä ymmärrystä puuaineksen tai puun ainesten käyttäytymisestä keiton aikana, kuin löytää optimiolosuhteita sellun valmistukseen. Joka tapauksessa tutkittavaa puuainesta pyritään yleensä pitämään halutuissa, normaaleissa (sulfaattikeiton) olosuhteissa myös tehdasolosuhteita simuloimattomissa keittotavoissa, jotta tärkeimmät kemialliset reaktiot olisivat samoja kuin tutkittavassa (sulfaatti) prosessissa.

## **2.2 Tehdaskokeet laboratoriokeittojen vaihtoehtona**

### *2.2.1 Tehdaskokeiden edut ja haitat laboratoriokeittoihin nähden*

Keittotutkimukselle tarpeelliset, selkeät keittotekijämuutokset aiheuttavat tehdaskokeissa uhan massan tuotannolle ja laadulle. On selvää, ettei tehtailla haluta ottaa ylimääräisiä riskejä. Itse asiassa esimerkiksi kovaksi jäänyt keitto voi pahimmillaan pysäyttää koko linjan tuotannon ja vastaavasti yhdenkin keiton liian rajut olosuhteet laskea sekoittumisen johdosta suuretkin massamäärät alle tiettyjen laaturajojen. Laboratorioissa tehdään erityisesti sellaiset keittotutkimussarjat, joiden olosuhteet

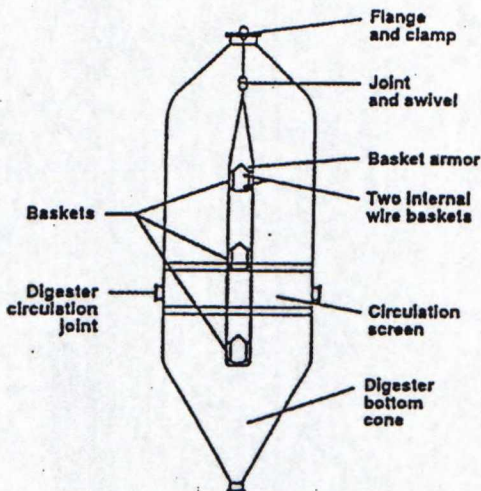


ulottuvat varmasti optimialueen ulkopuolelle. Joitakin keittotapamuutoksia, kuten erillisen paineimeytyksen käyttöönottoa on yksinkertaisesti mahdotonta kokeilla käytettävillä tehdaskeittimillä ilman miljoonien investointeja. Tällöin laboratoriosimulointia pitää varsin perusteltuna. Kuitenkin lopullinen varmuus menetelmän toimivuudesta saadaan vasta todellisessa käytössä.

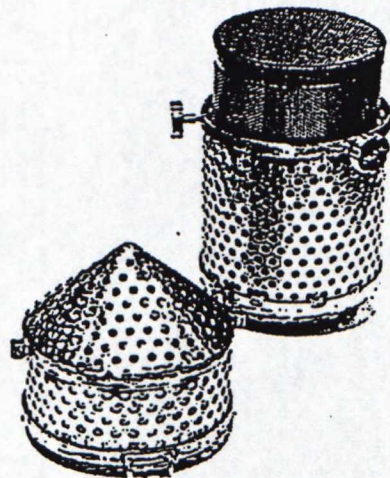
Tehdaskeittoon tulevan hakkeen määrä (kuivana) on vielä nykyisin melko epätarkasti tunnettu suure /2/, joten tehdaskeittokokeista ei saada luotettavasti mitattua saantoa eikä sen vuoksi tunneta myöskään alkaliannosta tai neste-puusuhdetta tarkasti /2/. Vaikka hakkeiden kuiva-aineen tarkka mittaaminen on myös laboratorio-olosuhteissa työlästä, saadaan siellä kuitenkin tehtaisiin verrattuna huomattavasti helpommin haakeannokselle ja sen määrityksen virheelle hyvä arvio. Myös tehtaissa usein esiintyvät häiriöt voivat sotkea ja vääristää tutkimustuloksia. "Tasaisen ajon" osuus voi olla alle puolet käyttöviikoista. Ennalta suunnitellun tutkimuksen toteutus voi häiriintyä tai jopa lykkääntyä viikolla tai parilla.

Laboratoriokeitot voivat toisaalta antaa vääristyneen kuvan useista eri syistä. Keittoon vaikuttavien tekijöiden määrä on niin suuri, että pienetkin poikkeamat tehtaassa olosuhteista voivat muuttaa saatuja keittotuloksia tai tehtaassa muita prosesseja merkittävästi. Esimerkiksi tiettyjen keitoissa mukana olevien lisä- tai sivuaineiden rikastumista ja vaikutusta tehtaassa kemikaalikierron on mahdotonta simuloida pelkällä laboratoriomittakaavan keittotutkimuksella. Toisaalta myöskään hyvin lyhyillä tehdaskoeajajaksilla eivät vastaa jatkuvassa ajossa esiintyvät haitat ehdi välttämättä ilmetä.

### 2.2.2 Hakekorikeitot



**Kuva 1.** Esimerkki korien sijoittelusta 140 m<sup>3</sup>:n tehdaseräkeittimeen /9/.



**Kuva 2.** 15 litran kori, jonka sisälle tulee päällekkäin on kaksi koria/10/.

Varsinaisten tehdaskokeiden ohella myös hakekorikeitot voivat olla vaihtoehtona laboratoriokeitoille. Hakekorikeitoissa tehdaseräkeittimiin laitetaan haketytön yhteydessä hakekori, jonka sisältämän massan määrä tunnetaan tarkasti. Yhteen keittoon voidaan laittaa tarvittaessa useita koreja ja yhden korin sisään useampia pienempiä koreja, joissa on esimerkiksi eri hakelaatuja. Korit voivat olla sijoitettuna



esimerkiksi keittimen ylä-, keski- ja alaosaan (Kuva 1) /9/. MacLeod'in käyttämässä menetelmässä seinämältäään suuriaukkoisen 15 litran korin sisälle on laitettu kaksi tiheämmästä materiaalista tehtyä hakekoria (kuva 2). Näin sisäkorit voidaan vaihtaa toisiin keittojen välillä hyvinkin nopeasti /10/.

Hakekorikeittoja on tehty ainakin vuodesta 1950 lähtien, vuonna 1954 pidetyssä esitelmässä Blume korosti ennen kaikkea korikeittojen vaatimaa vähäistä työmäärää laboriorikeittoihin verrattuna /11/. Korikeittoja käytettiin määrittämään tehdaskeittojen saantoa ja keittimien sisäistä kappahajontaa. Lisäksi Blume mainitsi korikeittojen olevan erittäin tehokas keino tutkia esimerkiksi eri puulajien keittymistä keskenään identtisissä keitto-olosuhteissa.

Hakekorikeittojen edut laboriorikeittoihin verrattuna ovat pienempi työmäärä keittoa kohden, helposti saatavat todenmukaiset keitto-olot ja luotettavat tulokset keittimen sisäisistä keittymiseroista. Työmäärää vähentää se, että yhdestä tehdaskeitosta voidaan saada useampia korikeittoja, keittojen lipeävalmistelut jäävät pois ja keittimellä ei tarvitse olla muulloin kuin täytön aikana ja heti tyhjennyksen jälkeen /11/. Hakekorien suhteellisen suurten tilavuuksien takia hakkeiden välisten erojen merkitys keittotuloksiin jää pienikokoisia laboriorikeittämiä vähäisemmäksi. Toisaalta korikeittojen alkaliannostus jää epämääräiseksi, sillä hakkeiden itseensä ottaman kemikaalien määrä riippuu huomattavasti keittimeen annosteltujen hakkeiden ja lipeiden määrästä sekä hakekorien sijainnista keittimessä. Lisäksi korikeitot soveltuvat sellaisenaan luonnollisesti vain eräkeittoon /2/, joten jatkuvatoimisten keittojen suhteen on turvauduttava laboriorikeittoihin.

Korikeitoilla voi tutkia tietyn keiton vaikutusta hakkeisiin muttei hakkeiden vaikutusta keittoon. Esimerkiksi keittokoriin laitettavan ohuen hakkeen keittymiseen vaikuttaa varsinaisten keittotekijöiden lisäksi huomattavasti koko muun keittimen hakepalakokojakauma — mitä paksumpia muut hakkeet ovat, sitä hitaammin ne imevät itseensä keittokemikaaleja ja sitä rajummin keittokorin ohut hake keittyy. Vastavasti usean puulajin korikeitossa lipeän ominaisuudet määräytyvät varsinaisen keittimeen annostellun hakkeen mukaan. Tässä mielessä korikeittoja vastaa mikrokeitinlaitteistoksi nimetty pakkokierto-keittimeen liitetty keittosysteemi (kts. kohta 3.5).

Käytännössä hankaluutta voi tuottaa tehtaiden mahdollisesti kaukainen sijainti erityisesti eri tutkimuslaitoksista, eli muutamaa keittokoetta ei kannata lähteä tekemään esimerkiksi Espoosta Kemijärvelle työmäärän minimoimiseksi. Lisäkustannuksia voi aiheutua mahdollisista tuotantotappioista, kun tehdaskeittimien koot ovat useita satoja kuutiometrejä (uudet eräkeittimet ovat kooltaan 300 - 500 m<sup>3</sup>). Ainakin varhaisemmassa korikeittomallissa keittimen täyttö piti pysäyttää korin asettelun ajaksi /11/, lisäksi korien asettelu voi vähän viivästyttää keittoja. Keitinten tulee olla myös soveltuvia korien asetteluun (valmiit kiinnityskohdat vajereille jne.). Koska esimerkiksi eräkeitossa kuumapuskua tai todellisen keittimen sisäistä kappahajontaa on vaikeata tutkia laboriorilaitteilla jatkettaneen keittokorien käyttöä laboriorikeittomenetelmien kehittymisestä huolimatta.



## 2.3 Keskeisimmät tekijät tehdaskeittojen simuloinneissa

### 2.3.1 Käytettävät hakkeet

Hakepalasten massa vaihtelee gramman molemmin puolin, joten keittoon annosteltavien hakepalojen lukumäärä on etenkin pienissä keittimissä merkityksellinen keittotulosten luotettavuuden kanssa. Mitä vähemmän on hakepaloja, sitä suurempi merkitys on yksittäisten palojen ominaisuuksien vaihtelulla. Erittäin pienillä keittimillä joudutaan tekemään valinta, käytetäänkö tehdaskeittoa vastaavia osin kookkaita ja heterogeenisiä hakkeita vai käytetäänkö keittotulosten hajontaa vähentävää tasalaa- tuista (pienikokoista) hakejaetta.

Lajittumisen ja hakkeiden pilaantumistaipumuksen takia voi olla syytä tehdä samalla kertaa kaikki keittosarjan annostukset valmiiksi ja pakastaa nämä odottamaan käyttöä. Näin tilastollinen epävarmuus hakkeiden kuiva-ainepitoisuuden keskiarvosta ei vaikuta eri tavoin toisiinsa vertailtavissa koepisteissä ja hakkeiden pilaantumis- tms. muuttumisriski minimoidaan.

### 2.3.2 Hakkeiden pakkausaste

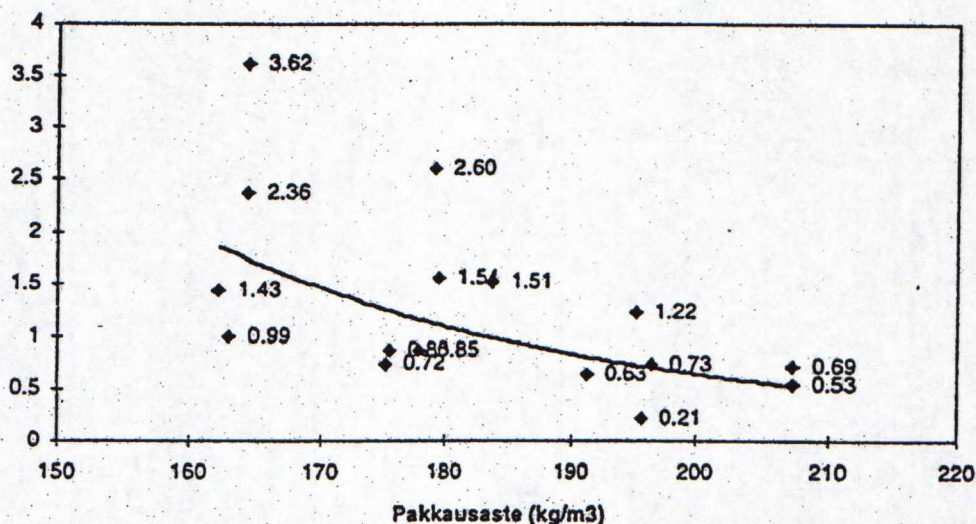
Mäntyhakkeiden pakkausaste höyrypakatuilla keittimillä on noin  $190\text{--}220\text{ kg/m}^3$ , ilman jälkitäyttöä pakkausaste on muutamia prosentteja alhaisempi /12, s. 346-347/. Koivulla pakkausasteet ovat n. 10 % havupuiden pakkausasteita suuremmat /12, s. 347/. Laboratoriokeittimissä olisi syytä pyrkiä teollista keittoa vastaaviin pakkausasteisiin (esimerkiksi  $200\text{ kg/m}^3$  havupuulla). Suhteellisen korkeilla pakkausasteilla ja tasaisella pakkauksella estetään suurien "kolojen" syntyminen keittimen sisälle. Nämä kolot voivat lisätä lipeän oikovirtoja heikentäen keittojen homogeneisuutta ja toistettavuutta.

Kun hake laitetaan putkimaisiin laboratoriokeittimiin tai -keittokoreihin, joudutaan sitä tiivistämään mekaanisesti tehdaspakkausasteisiin pääsemiseksi /4/. Tähän sopii hyvin esimerkiksi leveäpäinen bambukeppi tai muu kevyt "nuija". Sillä voidaan hakata varovasti hakkeita pystysuuntaan olevien hakkeiden kääntämiseksi lappeelleen. Varovaisella tiivistyksellä vältetään siis hakeholvautumien synty. Tasaisimpaan täyt- töön päästään, kun tiivistys suoritetaan kerrallaan vain muutaman sentin paksuiseen hakekerrokseen.

Joutsimo havaitsi DI-työssään alhaisen pakkausasteen korreloivan positiivisesti tehdaseräkeittimen sisäisen kappahajonnan kanssa, kun kappahajontaa mitattiin keittimen sisällön painon mukaan otetuista purkunäytteistä /13, s.72/. Kuvan 3 perusteella voidaan sanoa, että keittimen huono pakkautuminen lisää ennen kaikkea keittimen sisäisen kappahajonnan riskiä, muttei välttämättä johda siihen. Saatua tulos voi päteä myös laboratoriokeittimissä — pakkausasteen alentuessa tulee hakkeiden epätasainen sijoittuminen keittoastiaan todennäköisemmäksi.



### Kappahajonta



**Kuva 3.** Pakkausasteen muutoksen vaikutus keittimen sisäiseen kappahajontaan Metsä-Rauman 400 m<sup>3</sup>:n Super Batch -keittimissä /13, s.73/. Kappahajonta on määritelty keitoista ottamalla purkunäytteet keittimestä keittimen sisällön painon (400, 300, 200 ja 100 t) mukaan.

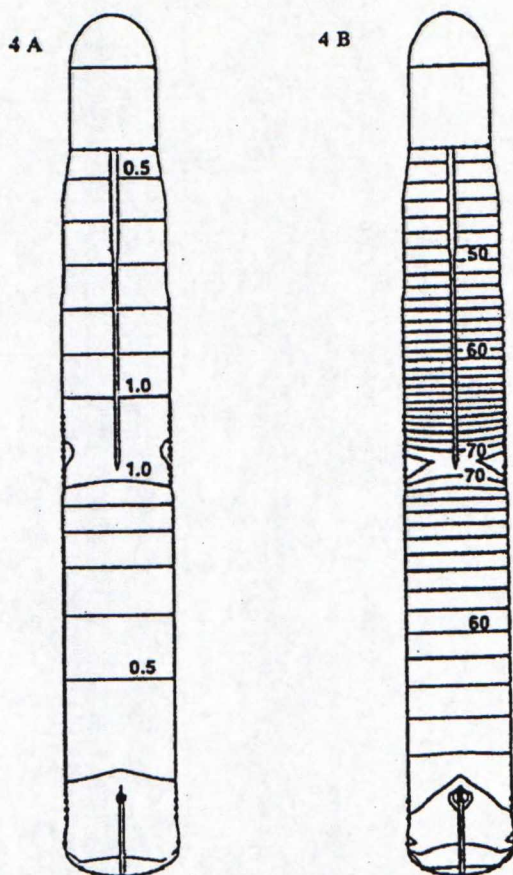
### 2.3.3 Hakkeiden kokoonpuristuminen

Erityisesti jatkuvatoimisissa keittimissä hakepilariin muodostuu hakkeita kokoonpuristavaa hakepainetta. Hakepaineen aiheuttaa osassa keittimiä keittimen yläosan höyryfaasissa olevat hakkeet, sekä kaikissa keittimissä keittonesteen tiheyttä suurempi hakeaineksen tiheys. Myös keittonesteen virtaus hakkeiden suhteen vaikuttaa hakepaineeseen.

Härkösen tutkimuksessa hakepaineen maksimi arvoksi höyry-nestefaasikeittimessä saatiin matemaattisen mallinnuksen avulla noin 0,1 baaria (kuva 4) /14/. Riittävästi pehmenneet hakkeet puristuvat kokoon hakepaineen vaikutuksesta, jolloin niiden välit pienenevät (kuva 4). Tällöin myös keittonesteen virtausvastus ja virtauksen kanavoitumisriski kasvaa, etenkin jos keitin toimii tietokonemallinnettua kuvan 4 keitintä huomattavasti epäideaalisemmin esimerkiksi kasvaneen tuotannon tai pitkälle viedyn keiton johdosta.

Useimmissa laboratoriokeittimissä ei hakepatjan puristuspainetta voi jäljitellä mitenkään. Muutamien keittimien kansiin on asennettu mäntä, joka puristaa hakepatjaa kasaan päästäen lipeän virtaamaan männässä olevien reikien läpi /3, 4, 15/. Hakepatjan aiheuttama virtausvastus eli painehäviö saadaan keittimen ylä- ja alapaineen eroista huomioimalla lisäksi hydrostaattisen paineen vaikutus paine-eroon (kuva 5).

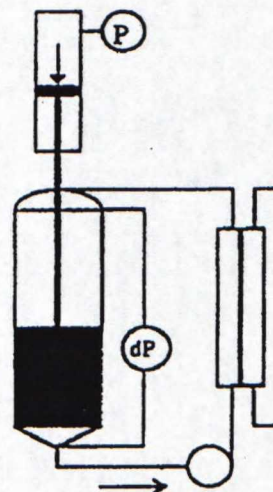




**Kuva 4.** Höyry-nestefaasikeittimen matemaattisesta simuloinnista saadut arvot /14/:

A. puristuspaineelle vesipatsasmetreinä (1 m = 0,1 bar)

B. hakkeen prosenttisuudelle kokonaistilavuudesta.



**Kuva 5.** Periaatekuva puristusmännällä varustetusta pakkokierto-keittimestä/15/.

#### 2.3.4 Lipeäkierron nopeus tehdas- ja laboratoriokeittimissä

Lipeäkierron nopeus voidaan määrittää kulkunopeutena hakepalojen suhteen tai eräkeittimissä kiertonopeutena, mikä vastaa aikaa, kun liuosta on kierrätetty keittimen läpi keitintilavuuden verran. Pakkokiertoon perustuvissa laboratorioeräkeittimissä on Tikan mukaan vastaaviin eräkeittoihin verrattuna 10-15 kertaa suurempi kiertonopeus, mikä tekee laboratoriokeitosta huomattavasti todellista teollista eräkeittoa tasaisemman /2/. Laboratoriopakkokierto-keittimet ovat kooltaan noin kymmenestuhannesosa tehdaskeittimistä. Tämä johtaa suurempaan suhteelliseen lämmitystarpeeseen, minkä takia lipeän kiertonopeus pitää olla tehdaskeittimiä huomattavasti suurempi (kts. 2.4.4).

Jatkuvatoimisissa keittimissä lipeän kulkunopeus hakepalojen suhteen riippuu niin keittovaiheesta (hakepalan pystysuuntaisesta sijainnista keittimessä) kuin tarkastelukohdan etäisyydestä keittimen keskikohdasta. Myötävirtavaiheissa hakkeet ja lipeä liikkuvat vain vähän toisiinsa nähden, kun taas vastavirtavaiheissa suhteellinen nesteen ja hakkeiden välinen nopeus on huomattavasti suurempi /14/. Keittimen alaosissa hakkeet alkavat pehmentyessään puristua kokoon, jolloin hakkeiden välit pienentyvät ja nesteen kulkunopeus hakkeiden ohi vastaavasti joko kasvaa tai sitten toisissaan kiinni olevien hakeseinien välillä ei keittoneste virtaa juuri ollenkaan. Virtausnopeus vaihtelee myös tarkastelukohdan poikkisuuntaisen sijainnin funktiona, sillä



jatkuvatoimisissa keittimissä lipeä pumpataan keskilinjalle, mistä se siirtyy hakkeiden läpi reunoilla oleviin sihteihin. Keskiosassa keitintä virtaus on siten suurempi kuin keittimen reunoilla.

Erä- tai jatkuvatoimisen keiton virtauksista voidaan yrittää jäljitellä vain keskiarvovirtauksia keiton eri vaiheissa, usein ei kuitenkaan pyritä tähänkään vaan jätetään keittolaitteiden aiheuttamien rajoitusten takia tehdaskeittojen eri virtausolosuhteet kokonaan huomioimatta. Laboratoriokeittojen todenmukaista homogeenisemmat keitto-olosuhteet tehostavat kaikilla eri keittotavoilla keittymistä. Nopeutunut keittokierto voi kuitenkin suosia enemmän tiettyjä keittotyyppisiä. Esimerkiksi huonon imeytyksen merkitys riippuu paljon keiton aikaisesta aineensiirron tehokkuudesta, eli imeytyksessä saadut erot keittotapojen välillä voidaan hävittää ylitehokkaalla keittonesteen kierrätyksellä.

### *2.3.5 Keitinten sisäiset keittymiserot eli anomaliat*

Lipeän virtausnopeuksien vaihtelun lisäksi keittymiseroja, eli anomalioita voi syntyä myös useista muista syistä. Esimerkiksi keiton alkuvaiheissa väkevästä lipeästä imeytyy aktiivisia kemikaaleja hakkeeseen, jolloin lipeiden tulokohtia lähellä olevat hakkeet voivat saada keskimääräistä suuremman kemikaaliannostuksen. Teollisessa eräkeitossa keittimen alaosassa olevat hakkeet ovat yläosan hakkeita 1-2 baaria suuremmassa paineessa koko keiton ajan, millä on todennäköisesti oma merkitys keittotulokseen, etenkin jos sitä ei kompensoida ala- ja yläpuolen lipeävirtauksien suhdetta säätämällä. Matalan neste-puusuhteen eräkeitossa osa hakkeista ei ole välttämättä koko aikaa nestepinnan alapuolella, jolloin alkan siirtyminen yksittäisiin hakepaloihin voi vaihdella huomattavasti niiden keittimeen sijoittumisen funktiona.

Laboratoriokeittimissä anomalioita ei yleensä esiinny niin paljoa kuin teollisissa prosesseissa. Tätä laboratoriokeiton tasaisuutta on tarjottu selitykseksi tehdaskeittoa simuloivan laboratoriokeiton suhteelliselle "paremmuudelle" /16/. Yhtenä anomalian määritelmänä on käytetty sitä, löytyykö tehdaskeittimen puskunäytteistä erittäin korkean kappaluvun (60-100) näytteitä /17/. Jos anomaliaa esiintyy, niin osa kuiduista joudutaan keittämään hyvin alhaisiin kappalukuihin, jotta keskimääräiseksi kappaluvuksi saadaan haluttu. Vastaavasti rejektin määrä kasvaa anomalioiden lisääntyessä /17/.

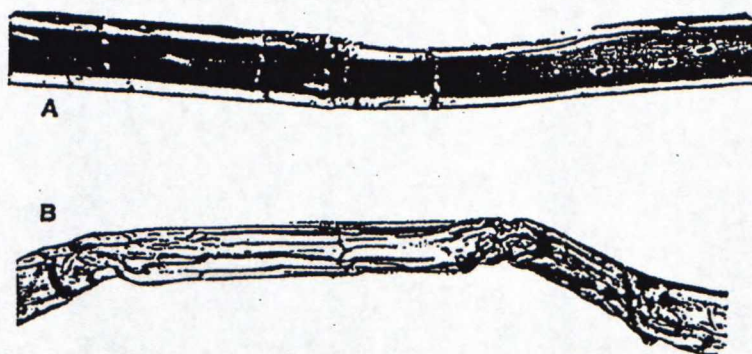
Teoreettisesti ottaen täydellisessä keittosimulaatiossa jäljiteltäisiin myös keiton anomalioita. Kuitenkaan niiden syntymekanismia ei välttämättä tunneta tai anomalioiden määrä ja syntyminen vaihtelevat yksittäisestä keitosta toiseen. Tavanomaisilla laboratoriokeittimillä tyypillisten tehdasprosessin puutteellisuuksien teko hallitusti ja toistettavasti on hankalaa, joten keittosarjatutkimuksissa anomalioita on useimmiten syytä välttää keittotulosten hajonnan minimoimiseksi.



### 2.3.6 Keittimen tyhjennystapa

Massa on tehdaskeiton jälkeen perinteisesti poistettu paineellisista keittimistä puskun avulla. Jatkuvatoimisissa keittimissä massaa otetaan ulos ikään kuin jatkuvana puskuksi. Perinteisen kuumapuskun on arveltu alentavan massan lujuusominaisuuksia, minkä takia on siirrytty joissakin eräkeittoa käyttävissä tehtaissa aluksi ns. kylmäpuskuun ja myöhemmin pumpputyhjennykseen. Myös laboratoriossa on periaatteessa tehdaskeittimien tapaista pohjaventtiilin läpi suoritettavaa "puskua" käytetty keittimen tyhjennykseen. Tällainen laboratoriopusku on kuitenkin tehdaspuskua huomattavasti hellävaraisempi /18/. Yleensä laboratoriokeittimet tyhjennetään kaatamalla tai muulla hellävaraisella menetelmällä.

Tehdaspuskuun merkitys havupuusta keitetyn massan lujuuden alenemiseen on tullut ilmeiseksi mm. korikeitoista saatujen tulosten perusteella. Näissä pesurilta saadun massan repäisylujuus oli vakiovetolujuudessa noin 25 % pilot-keittimen massan repäisylujuutta alempi, kun taas keittokoreista (ei puskuja) saadulla massalla eroa oli vaan 10 % pilot-keittimen repäisylujuuteen /19/. Perinteisesti jonkinlaisena massan lujuusmittana käytetty viskositeettiarvo ei kuitenkaan alene tehdaspuskussa /19/. Pesurimassan pilot-massaa huomattavasti alentunut lujuus voidaan ainakin osittain selittää puskuissa tapahtuneilla kuituvaurioilla. Kuvassa 6 on esitetty rinnakkain pilot-keittimestä (ei puskuja) ja puskemalla tyhjennetystä tehdaseräkeittimestä saadut tyypilliset kuidut.

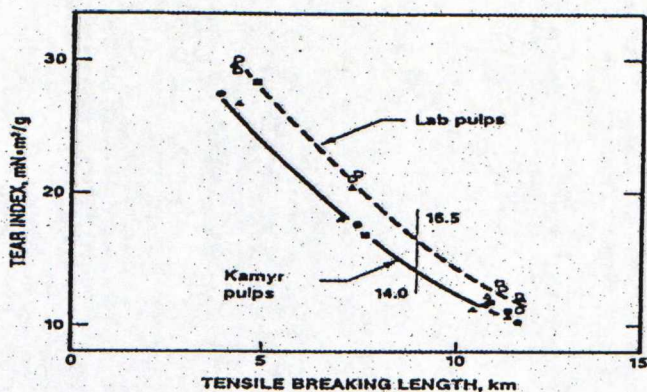


**Kuva 6.** Pilot-keittimen kuitujen (kuitu A) soluseinämissä ei ole juurikaan dislokaatioita, kun taas tehdaskeiton ja -puskun läpikäyneet sellukuitujen (kuitu B) soluseinämät ovat voimakkaasti dislokaatioituneet/10/.

### 2.3.7 Keiton lujuussaanto

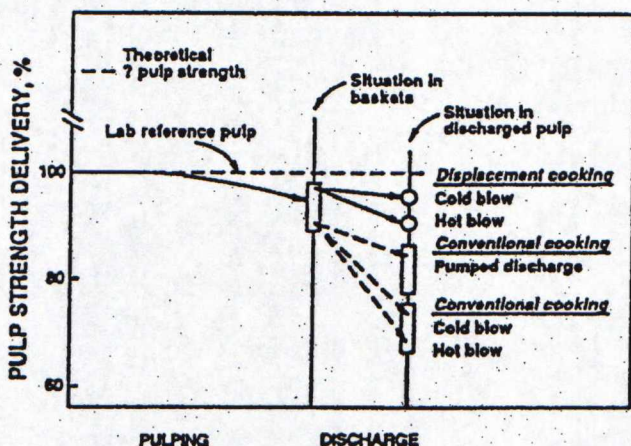
Keiton lujuussaanto on tehdas- ja laboratoriomassojen lujuuden suhde, kun keitot tehdään samoista hakkeista ja kun laboratoriokeitto suoritetaan tehdaskeiton tapaan, mitä kemikaaliannostuksiin tulee/9, 20/. Lisäksi tehdas- ja laboratoriokeittojen jälkeisten massankäsittelyiden tulee olla keskenään samanlaiset. Massan lujuus määritellään yleensä repäisyindeksinä vakiovetoindeksitasossa (esim. 70 Nm/g). Kuva 7 havainnollistaa lujuussaannon määrittystä.





**Kuva 7.** Repäisyindeksit katkeamispituuden suhteen erään jatkuvatoimisen Kamyr-keittimen ja prosessia simuloivan pilot-keittimen massoista/20/. Lujuussaanto saadaan, kun massan repäisyindeksi (nyt katkeamispituudessa n. 9 km, vastaa vetoindeksiä 90 Nm/g) jaetaan Pilot-keittimen massan repäisyindeksillä, eli tässä prosessissa lujuussaanto oli  $(14,0/16,5) \cdot 100 \% = 85 \%$ .

Perinteisillä erä- ja vuokeittotavoilla lujuussaannot ovat olleet 80-luvulla julkaistun selvityksen mukaan noin 65 - 85 %, keskimäärin 75 % /19/. Mitään selvää yhtä syytä ei heikkoihin lujuussaantoihin ole löytynyt, tärkeimpinä syinä on pidetty tehdaskeiton epätasaisuutta ja tehdaspuskua. Tikan /9/ esittämä kuvan 8 hypoteesi massan lujuussaannon menetyksestä perustuu ajatukselle, että keiton suoritustapa vaikuttaa niin puskemattoman massan lujuussaantoon kuin myös massan lujuussaannon alenemiseen puskussa, eli massan "vaurioitumisherkkyteen" puskussa.



**Kuva 8.** Hypoteesi lujuussaannon kehityksestä havukeitossa ja tehdaspuskussa /9/.

Vaikka lujuussaannon voikin ajatella olevan hyvä esimerkki tehdaskeiton vaikeasta jäljiteltävyydestä laboratorio-oloissa, antaa huonon lujuussaannon osoittava tulos toisaalta tärkeän todisteen tehdaskeiton parannusmahdollisuuksista myös muuttamatta nykyisiä "keittotekijöitä", eli muuttamatta hakkeen ominaisuuksia tai keiton lämpötilaprofilia tai keittokemikaalien annostusta.

### 2.3.8 Massan käsittely

Keiton jälkeiset operaatiot vaihtelevat laboratorioittain. Usein ei pyritä jäljittelemään orjallisesti tehdasolosuhteita vaan pikemminkin saamaan nämä vaiheet suoritettua mahdollisimman toistettavasti. Käytettävät laitteet ja tutkimuksen painotukset vai-



kuttavat myös massan käsittelytavan valintaan. Näin ollen esimerkiksi kokonaissaannolla tarkoitetaan eri paikoissa hieman eri asiaa. Taulukossa 1 on esitetty muutama Suomessa käytetty laboratoriokeiton jälkeinen massankäsittelysekvenssi.

**Taulukko 1.** Eräitä keiton jälkeisiä massankäsittelysekvenssejä.

Sekvenssi 1	Sekvenssi 2	Sekvenssi 3
Pesu hakemuodossa, joko kuumalla vedellä 2 h tai "yön yli" kylmällä vesijohtovedellä. Vesi mahdollisesti puskuroitu.	Keitinpesu kuumalla vedellä (n. 50 l). Hajotus kuumassa vedessä. Pesu imusihdillä.	Keitinpesu kylmällä vedellä, liotus hakemuodossa yön yli, lyhyt pesu aamulla. Massan hajotus
Linkous (hakemuodossa) Homogenointi Kokonaissaanto (Lajittelematon kappaluku?)	Linkous Homogenointi (lyhyt) Kokonaissaanto (Lajittelematon kappaluku?)	
Märkähajoitus Lajittelu Rejekti lajittelusta	Lajittelu Rejekti lajittelusta	Kaksivaihe (1 + 0,3 mm rako) lajittelu Rejekti lajittelusta
Linkous Homogenointi  Määritykset massasta: Kappaluku, viskositeetti jne.	Linkous Homogenointi  Määritykset massasta: Kappaluku, viskositeetti jne.	Linkous Homogenointi Lajiteltu saanto Määritykset massasta: Kappaluku, viskositeetti jne.
Laj. saanto = kok.saanto-rej.	Laj. saanto = kok. saanto-rej.	Kok. saanto = Laj.saanto + rej.

Kokonaissaannon määrityksen kannalta on merkitystä sillä, pestäänkö ja lingotaanko massa hajoitettuna vai hakemuodossa. Hakemuodossa massa jää lähes kokonaan siinä oleva nollakuitu yms., kun taas hajoitetusta massasta uudelleen suotauttamisen yhteydessä voi suurikin osa nollakuiduista hävitä. Nollakuidun osuus voi olla varsinkin lehtipuussa ja erityisesti ruohovartisissa kasveissa olla merkittävä. Nollakuidun hävikkiä voisi ajatella pienennettävän esimerkiksi pesuveden runsaalla kierrätyksellä, toisaalta nollakuitua ei välttämättä halutakaan saada talteen.

Jos taas massa pestään ja lingotaan hakemuodossa (taulukko 1, sekvenssi 1), lisääntyy huonon pesun riski merkittävästi, jolloin saantoa voi lisätä massasta peseytymätön ligniini sekä muut aineet, jotka ovat riittämättömän pesun johdosta jääneet massaan. Lisäksi aina massaa huonosti pestäessä myös pesuhäviön vaihtelu lisääntyy, eli kokeiden toistettavuus kärsii. Massan hajoitusten ja homogenointien vaikutuksesta massan lujuus voi laskea jonkin verran, tämän takia esimerkiksi vaiheajat tulisi valita huolella ja mieluiten vakioita.

### 2.3.9 Lipeiden kierrätykset ja ainetaseet

Simuloinnin luotettavuutta voidaan parantaa käyttämällä tehtaasta otettuja edustavia lipeänäytteitä. Toisaalta tutkitun prosessin ainetaseitakin voidaan tietyllä tarkkuudella simuloida kokeellisesti kierrättämällä tehdaskeittojen tapaan edellisistä keitoista saatuja liuoksia seuraavissa keitoissa. Tällöin joudutaan keittämään varsinaista keittoa ennen yksi tai useampi ns. tasoituskeitto. Esimerkiksi yhtä koepistettä kohden voidaan tehdä kaksi esikeittoa, joista ensimmäiseen käytetään synteettisiä lipeitä ja seuraaviin kierrätettyjä mustalipeitä ja synteettistä valkolipeää. Näin varmistetaan mm. keittojen vertailtavuus riippumatta keittojen tekoajankohdasta (tehdaslipseiden ominaisuudet muuttuvat ajan funktiona).



Modifioitujen ja jatkuvatoimisten keittojen lipeäkiertosimuloinnit vaativat useiden eri lipeiden säilyttämistä ja kierrättämistä, eli onnistuneen lipeäsimuloimisen toteuttaminen uudempien keittotekniikoiden jäljittelyssä vaatii konventionaalista pommi- tai pakkokiertolaboratoriokeittoa mutkikkaampaa prosessia. Tarkassa keittosimulaatiossa pitäisi massan ominaisuuksien lisäksi myös kiertävien lipeiden ominaisuudet olla lähellä tehdaskeittojen vastaavia lipeitä.

Lipeäkierron jäljittely voi joskus lisätä koepistekohtaista työmäärää ja tulosten hajontaa. Yleisesti ottaen ainetaseiden pitäisi olla modifioitujen keittojen simulaatioissa jossain määrin realistiset, muuten puhutaan tehdaskeittoja simuloimattomasta keittotutkimuksesta. Tämä ei sinänsä ole mitenkään keittosimulaatiotutkimusta "huonompaa" tutkimusta, lähestymistapa on vain silloin erilainen. Joka tapauksessa huomattavasti pienemmästä mittakaavasta johtuen laboratoriokeittojen huuhteluhäviöt tms. ovat paljon tehdaskeittojen häviöitä suuremmat, joten "täydellinen" keittolipeiden kiertosimulaatio on nykyisillä laboratoriokeittimillä hyvin hankala toteuttaa.

## **2.4 Laboratoriokeitinten koko**

### *2.4.1 Keitinkokojen vaihtelu*

Laboratoriokeitinten koot ovat vaihdelleet esimerkiksi KCL:n keittolaboratoriossa 0,15 ja 600 litran välillä /4/. Myös näitä pienempiäkin mikrokeittimiä (5 ml) käytetään, mutta käyttö rajoittuu lähinnä puukemian malliainetutkimuksiin /4/. Suurinta, nyt jo käytöstä poistettua 600 l keitintä on käytetty lähinnä paperikoneajojen raaka-aineen valmistukseen /4/. Pilot-keitimet, jotka ovat myös tiettyssä mielessä laboratoriolaitteita, ovat kooltaan tyypillisesti muutaman kuutiometrin luokkaa /21, 22/.

### *2.4.2 Keitinkoon merkitys keittotulosten hajontaan*

Keitettävät hakkeet ovat aina jossain määrin heterogeenisia. Erityisesti tehdashakkeet, joista ei ole seulottu ylipaksuja tai -suuria hakkeita pois, voivat aiheuttaa keittotuloksiin suurta hajontaa. Hakepalasten kuivan painon vaihdellessa esimerkiksi 0,5 - 2 gramman välillä vaihtelee vastaavasti hakkeiden lukumäärä 100 g annostuksella välillä 50 - 200 kpl. Tehdashakkeita käytettäessä voi jopa olla syytä lajitella pienimpiä keittimiä käytettäessä hakkeet käsin. Keitinkoon kasvaessa hakepalojen keskinäisen hajonnan merkitys pienenee ja keittotulokset tulevat siinä mielessä luotettaviksi ilman työlästä hakkeiden käsinlajittelua.

Pieni keitinkoko on mm. Keays'n ja Bagleyn mukaan hakkeen ominaisuuksien vaihtelun takia merkittävin selittäjä esimerkiksi saannon hajontoihin /23/ (kts 3.5.3). Balodis et. al. mukaan /24/ ilmahaudekeittimellä 'standardihakkeen' annostuksella 75 g (0,5 l keitin) saantohajonta on n. 50 % korkeampi kun annostuksella 280 g (2 l keitin). Toisaalta hakkeita tasalaatuisempaa ainesta, kuten hamppua, keitettäessä on käytetty 25 ml:n reaktoriastioita /25/.

### *2.4.3 Keitinkoko massamäärän suhteen*

Keittotutkimuksessa käytettävän keittimen optimikoko riippuu luonnollisesti tarvittavasta massamäärästä. Esimerkiksi niistä koepisteistä, joista saatavaa massaa ei haluta jatkokäsitellä, kuten valkaista tai jauhaa, riittää melko pieni massamäärä. Kuitenkin nimenomaan keittotulosten hajonnan kasvun takia ei voida mennä hyvin



pieniin hakeannostuksiin, vaikka tuloksista haluttaisiin vain massan kappaluku, viskositeetti ja saanto. Keitinkoon kasvaessa lisääntyy laboratoriokeittoon tarvittava työmäärä erityisesti, jos hakkeisiin tai muihin keiton raaka-aineisiin joudutaan tekemään työläitä käsittelyjä (erikoislipeät, hakkeiden käsinseulonta ja -homogenointi).

Vaikka tarvittavan massan määrä vaihteleeikin tutkimuskohtaisesti, niin yhdessä laboratoriossa tulisi käyttää suhteellisen harvoja eri keitinkokoja. Näin keittoa tukevien prosessien, kuten hakkeiden ja lipeiden käsittely sekä massan eri käsittelyvaiheet, hajoitus, pesu ja valkaisu, voidaan mitoittaa paremmin tietyille massamäärille, mikä vähentää kokonaistyon määrää /4/.

#### *2.4.4 Keitinkoon merkitys lämmönsiirtoon*

Minkä tahansa kappaleen suurentuessa (muotonsa säilyttäen) kasvaa sen tilavuuden suhde ulkopinnan alaan. Tätä suhdetta voidaan kutsua näennäiseksi halkaisijaksi. Koska keittimen sisällön määrä riippuu suoraan sen tilavuudesta ja reunan läpi johtumalla kulkeutuva lämpömäärä riippuu keittimen ulkopinta-alasta, niin keittimen näennäisen halkaisijan käänteisarvo kuvaa kohtalaisesti vakioeristepaksuisen keittimen jäähtymisnopeutta ja ulkopinnoilta lämmitettyjen keittopommien lämpötilan nostonopeutta. Öljyhaudekeittimellä esimerkiksi tilavuuden nosto 0,1:stä 3 litraan nosti tasaantumisaajan 15 minuutista 60 minuuttiin /26/.

Eristettyjen keittimien jäähtymistä kompensoidaan erityisesti teollisuudessa epäsuoralla lämmityksellä eli lämmön kuljetuksella keittonesteen avulla keittimen sisään. Myös pakkokiertolaboratoriokeittimet toimivat periaatteessa samalla tavoin. Niissäkin keittonesteen virtaus perustuu lipeän kierrättämiseen pumpulla keittimestä lämmönvaihtajaan ja sieltä takaisin keittimeen. Tyypillisen pakkokiertolaboratoriokeittimen tilavuus on alle tuhannesosa teollisuuskeittimen tilavuudesta, jolloin sen halkaisijakin on huomattavasti teollisen keittimen halkaisijaa pienempi. Tällöin keittonesteen kiertonopeuden on oltava suhteessa suurempien lämpöhäviöiden kompensoinnaksi vastaavasti huomattavasti (10 kertaa) teollisuuskeitintä suurempi.

Laboratoriokeittimien lämmönsiirtoa ei pystytä muuttamaan kokonaan teollisuuskeittimiä vastaavaksi suurentamalla eristepaksuuksia tai käyttämällä teollisuuskeittimiä tehokkaampia eristemateriaaleja, sillä lämpöä varaava massa on laboratoriokeittimillä sisätilavuuteen suhteutettuna teollisuuskeittimiä suurempi. Esimerkiksi laboratoriokeittimen vaippa, putkistot, pumput ja venttiilit on tehtävä keittimen halkaisijaan suhteutettuna ylipaksuista materiaaleista valmistuskustannusten ja keittopaineen kestotarpeen takia. Näin ollen esimerkiksi hitaissa teollisissa syrjäytyslämmityksissä tyypillisillä pakkokierto perustuvilla laboratoriokeittimillä ongelmaksi tulee keittimen jäähtyminen syrjäytysten aikana.

Toisaalta pienestä näennäisestä halkaisijasta on vastaavasti hyötyä silloin, kun keittimen lämpötilan säätö perustuu ulkopinnan lämmitykseen (ja jäähdytykseen). Jos halkaisija on hyvin pieni, niin keittimen sisällön lämpötila seuraa melko nopeasti ulkopinnan lämpötilan muutoksia. Tähän perustuvat erityisesti erilaiset haudelämmitteiset keittimet.



### 3 ERILAISET LABORATORIOKEITTIMET

#### 3.1 Keitinten jaotteluperusteet

Tässä tutkimuksessa keitintyyppit on jaoteltu ensisijaisesti keittonesteen sekoitus- ja keittimen lämmitystavan mukaan. Toissijaisina jakoperusteina on lämmityksessä mahdollisesti käytetyt väliaineet. Eri keittotyyppit jaotteluineen on esitetty taulukossa 2. Taulukon 2 keitintyypeistä yleisimpiä ovat olleet pyörivät, ilma- ja vesihaude- sekä pakkokiertokeititimet. Syrjäytyskeititimet ovat yleistyneet Suomessa nopeasti. Läpivirtauskeittimiä on käytetty jonkin verran ympäri maailmaa mm. puukemiatyyppiseen tutkimukseen. Taulukon 2 keittimistä neljää ensimmäistä voidaan kutsua yhteisnimityksellä autoklaavit — niillä ei ole keittoastian ulkoista lipeäkiertoa ja niiden lämmitys perustuu keittoastian ulkoiseen lämmitykseen. Taulukon muut keittimet ovat siis keitinkierrolla varustettuja laboratoriokeittimiä.

**Taulukko 2.** Laboratoriotutkimuksessa käytettyjen eri sellukeitinten jaottelu.

Keitintyyppin nimi	Keittoastioiden lkm ja koko (esim.)	Keittoastioiden lämmitys
Pyörivä keitin	18 l /27/	Sähkövastuksilla
Ilmahaudekeitin	6 kpl * 2,5 l /27/	Sähkövastuksin lämmitetyllä ilma-, vesi- tai öljyhauteella.
Vesihaudekeitin	8 kpl * 0,6 l /28/	
Öljyhaudekeitin	8 kpl * 0,2 l /27/	
Pakkokiertokeitin	33 l /29/	Keittonesteen avulla
Sähkölämmitteinen pakkokiertokeitin	28 l /41/	Astian lämmitys sähkövastuksilla, lämmönsäätö keittonesteen avulla.
Mikrokeitinlaitteisto	6 kpl * 1,0 tai 0,7 l /23/	Pakkokiertokeittimen kierrättämä neste toimii keitto- tai vaihtoehtoisesti haudenesteenä.
Sarjakeitin "Amalia"	4 * 2,5 l /16/	Keittoneste ja haude
Syrjäytyskeitin	20 l /2/	Keittoneste ja haude

#### 3.2 Autoklaavit

Autoklaaveiksi (Pommikeittimet) voidaan luokitella keittimet, joilla ei ole keittimen ulkopuolista keittonesteen kiertoa eikä yleensä keittonaikaista aineensiirtoa ympäristön kanssa. Keittonesteen kierron puuttuessa keittimen sisällön sekoitus perustuu autoklaavien pyöritykseen. Lämmitys tapahtuu joko keitinkohtaisilla sähkölämmittimillä tai epäsuorasti useaa keitintä samanaikaisesti lämmittävän hauteen välityksellä. Eri pommikeittimet voidaankin jakaa niiden lämmitystavan mukaan joko sähkölämmitteisiin pyöritettäviin keittämiin tai haudekeittimiin, eli hauteen mukaan ilma-, vesi- tai öljyhaudekeittimiin.

Autoklaaveja on niiden yksinkertaisen käytön takia käytetty jo pitkään sellunvalmistuksen tutkimukseen. Niitä käytetään nykyäänkin paljon erityisesti perinteisten eräkeittojen jäljittelyyn sekä massan happidelignifiointiin. Myös esitutkimukselle tyyppilliseen sopivien olosuhteiden hakemiseen ne soveltuvat hyvin. Pommikeitinten selkeänä etuna on rakenteen yksinkertaisuus, haittana taas on luonnollisesti reaalisten keittonaikaisten syrjäytysten mahdottomuus sekä täyttöasteen mahdollinen vaikutus aineensiirron tehokkuuteen.

Autoklaaveja on käytetty perinteisten keittojen lisäksi myös modifioidun keiton jäljittelyyn. Esimerkiksi Bofeng ja Hartler /30/ tutkivat öljyhaudekeittimellä impreg-

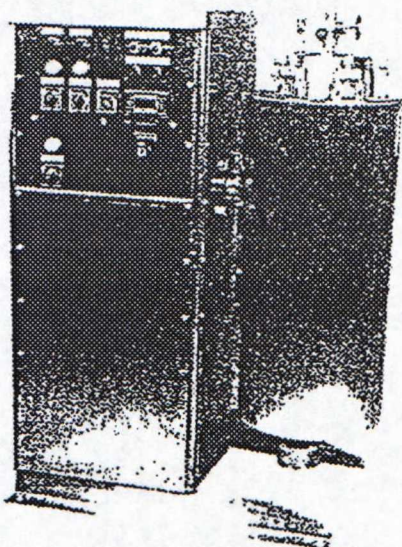


nointiliuoksen sulfidiväkevyyden merkitystä. Keitto tehtiin kolmevaiheisesti, vaiheiden välissä pommit jäähdytettiin ja liuos suodatettiin pois, minkä jälkeen hakkeet laitettiin seuraavan vaiheen liuoksen kanssa uudelleen keittopommeissa öljyhauteeseen. Keittosaannon arvioitiin jäävän tällä menetelmällä todellista alhaisemmaksi, koska suodatuksissa häviää tehdaskeitoissa hakkeisiin uudelleenabsorboituvia hemiselluloosia.

Varoventtiilittömiin keittopommeihin on välttämätöntä jättää riittävä veden laajentumisvara, muuten vaarana on koko keittimen rikkoutuminen. Pommeihin jäävällä kaasutilalla on merkitystä myös sisällön sekoittumiseen, sillä kaasutila mahdollistaa pommeja pyöriteltäessä keitonesteen hyvän liikkuvuuden pommeissa.

### 3.2.1 Pyörivät keittimet

Suuria 7 - 25 litran autoklaaveja lämmitetään kätevimmin keittoastiakohtaisesti asennetuilla sähkövastuksilla, jotka on sijoitettu yleensä keittoastian ja sen eristeiden väliin. Keittimen sekoitus tapahtuu pyörittämällä yksittäin keittoastiaa, siitä nimitys "pyörivä keitin". Suurempia keittosarjoja tehtäessä on mielekästä käyttää useita yhteisellä säätöjärjestelmällä ohjattuja keittimiä samanaikaisesti, jolloin yksi keittäjä voi tehdä saman päivän aikana monta keittoa /4/. Keittojen täytöt ja tyhjennykset on porrastettava tällöin sopivasti. Yksinkertaisen rakenteen vuoksi pyöriviä keittimiä käytetään paljon happidelignifointeihin ja perinteisen sulfaattieräkeiton jäljittelyyn /4, 29, 43/. Pyörivä keitin on esitetty kuvassa 9.



**Kuva 9.** Haato Oy:n pyörivä keitin /27/.

### 3.2.2 Ilma-, vesi- ja öljyhaudekeittimet

Pienemmät autoklaavit, joiden koko on yleensä alle 3 litraa, on asetettu yleensä sähkövastuksin lämmitettyyn hauteeseen. Autoklaavit on sijoitettu sekoitustelineeseen, jolloin yhdellä hauteella voidaan lämmittää useita (esim. 6 kpl) pommeja samanaikaisesti. Hauteina on käytetty ilma-, vesi- ja öljyhaudetta.

Pommien vakiolämmön ylläpito on helppoa, koska haude ympäröi pommeja. Lämpötilaa muutettaessa on muistettava, että keittopommeilla on aina jonkin verran hitautta saavuttaen hauteen lämpö, eli mitä suuremmat pommit, sitä hitaammin niiden



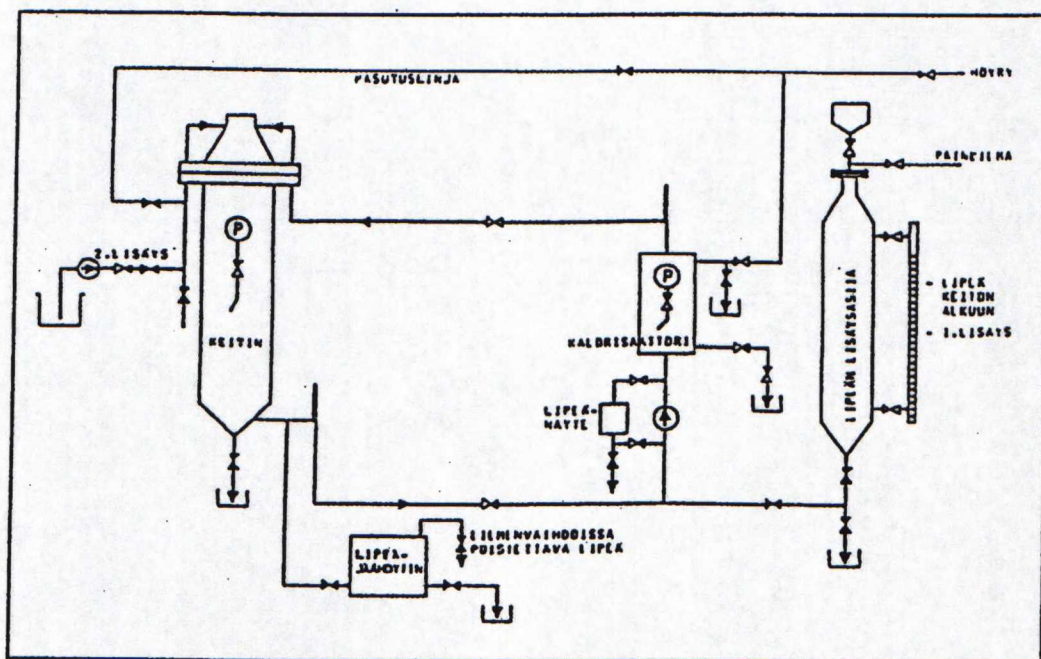
lämpötila seuraa hauteen lämpötilaa (kts. 2.4.4). Ilmahauteen tietokonepohjaisesta lämmönsäädöstä on Young'n ja Clark'n kuvaus vuodelta 1988 /32/.

Ilma- ja öljyhaudekeittimet ovat hyvin yleisesti käytettyjä /4, 24, 27, 30-33/. Ilmahaudekeittimien eduksi öljyhaudekeittimiin verrattuna voi pitää öljyhauteen sotkevuutta ja mahdollista haihtumista. Kummallakin keitintyyppillä voidaan suorittaa näytteenottoja tai kemikaalisäyksiä pysäyttämällä keittopommien pyöritys hetkeksi. Yksittäinen pommi voidaan poistaa hauteesta ilman merkittävämpää vaikutusta muihin pommeihin. Balodis et al. /24/ on tehnyt varsin hyvän esityksen ilmahaudekeitinten historiasta ja nykyaikaisesta vuonna 1997 kiinaan toimitetusta ilmahaudekeittimestä.

Vesihaudekeittimet ovat taas melko harvinaisia, sillä veden käyttö hauteena vaatii paineastiasysteemin käyttöä mikä tarvittavine tiivistyksineen tehnee systeemistä melko kalliin. Yksittäisten keittopommien poisotto keittimestä kesken keittoa ei ole varmaankaan mahdollista. Vesihaudekeitintä on käytetty esimerkiksi Sturgeoff'in et al. tutkimuksessa, jossa pommeja oli sijoitettu hauteeseen 8 kappaletta ja yhden pommin tilavuus oli 0,6 l/28/.

### 3.3 Pakkokiertoiteitin

Pakkokiertokeittolaitteisto on periaatteessa perinteisen eräkeittimen pienoismalli. Se koostuu minimissään keittimestä, pumpusta ja lipeän lämmittimestä. Lämmönsäätö ja sekoitus perustuvat keittonesteen kierrätykseen keittimen alaosasta pumppuun, lämmönvaihtimeen ja sieltä keittimen yläosaan. Usein pakkokiertokeittimen yhteydessä on yksi tai useampi liuossäiliö, tarkka annostelusäiliö, näytteenotin ja yhteet liuoksen lisäämistä ja poisottoa varten. Keitin voi olla varustettu paine- ja pinnan-korkeusmittarilla, lämpömittareilla jne. Kuvassa 10 on esitetty virtauskaavio Metsä-Botnian Kemian tehtaiden koekeittämön 20 litran keittimestä (vuodelta 1992) /34, s.46/. Virtauskaavioon ei ole piirretty vesilinjoi.



**Kuva 10.** Metsä-Botnian Kemian tehtaiden koekeittämön 20 litran pakkokiertokeittimen virtauskaavio (vuodelta 1992) /34, s. 46/.



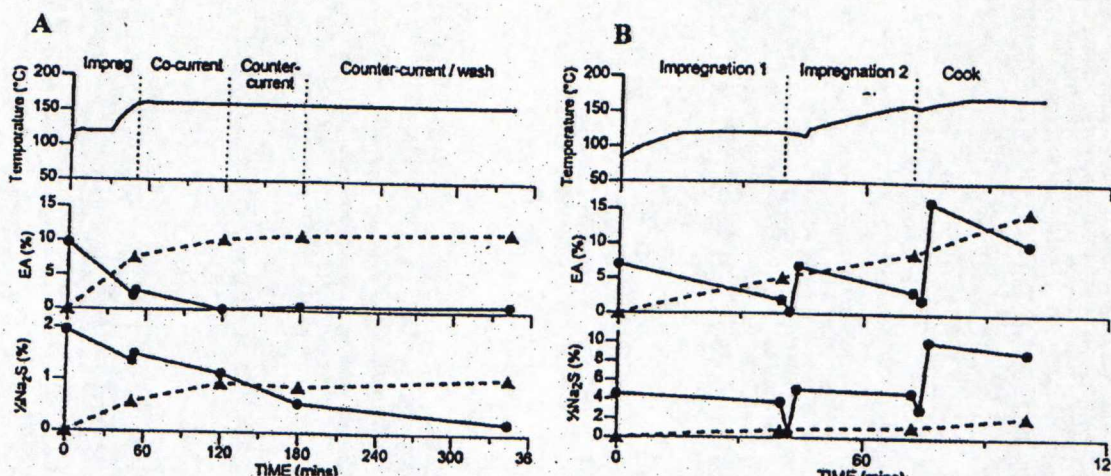
Perinteisen eräkeiton lisäksi pakkokiertokeittimillä on keitetty muunneltujen alkali-profiilien keittoja ja simuloitu uusia kaupallisia keittomuunnelmia. Esimerkiksi STFI:n ja KCL:n esitteiden mukaan näissä laitoksissa käytetyt pakkokiertokeittimet sopivat mm. RDH-, SB-, MCC- ja ITC-prosessin simulointiin /22, 35/.

Irvine, et al. kuvasi artikkelissaan /36/ jatkuvatoimisen keiton modifikaation (ITC, Isothermal Cooking) ja eräkeiton modifikaation (SuperBatch) simuloinnin 6 litran pakkokiertokeittimellä (MK Systems Inc.). Tutkimuksessa jatkuvatoimisten keittojen vastavirtaista keitto- ja pesuvaihetta simuloitiin lisäämällä jatkuvasti laimennettua valkolipeää ja poistamalla samanaikaisesti vastaavalla nopeudella mustalipeää. Vastaavasti SuperBatch-simulaatioissa kuumaa lipeäsyryäytystä simuloitiin poistamalla ensin keittimestä vanha liuos ja lisäämällä sitten uusi. Tyypillisten ITC- ja SB-simulaatiokeittojen keittovaiheet on esitetty taulukossa 2 ja lämpötila-, alkali- ja sulfidiprofiilit kuvassa 11.

**Taulukko 2.** ITC- ja SB-keittosimulaatioiden toteutus 6 litran pakkokiertokeittimellä /36/.

ITC-simulaatio	SB-simulaatio
Keitin esilämmitettiin 130 °C:eseen. Imeytysliuos esilämmitettiin erillisessä paine-astiassa 170 °C:eseen.	Keittimeen laitettiin kaksi kolmasosaa ensimmäisestä impregnointiliuoksesta. Liuos lämmitettiin 90 °C.
Hakkeet laitettiin keittimeen. Imeytysliuos pumpattiin tyypellä paineistettuun keittimeen. Neste:puusuhde oli 3,5.	Hakkeet laitettiin keittimeen. Neste-puusuhde oli 6:1.
Käsittelyvaiheen lämpötila oli 120 °C, paine 350 kPa. Vaihe kesti 30 min.	Keitin paineistettiin tyypellä ja keittimen lämpötila nostettiin 120 °C. 15 minuutin kuluttua loput imeytysliuoksesta pumpattiin keittimeen nopeudella 72 ml/min poistamalla samalla nopeudella käytettyä imeytysliuosta keittimestä. Tähän kului aikaa 25 minuuttia.
Nostovaiheessa lämpötila nostettiin 20 minuutissa 160 °C:eseen.	Keittimestä poistettiin vapaasti pois valuva imeytysliuos, mikä korvattiin esikuumennetulla toisella imeytysliuoksella (=KML), siten että neste:puusuhde säilyi 6:1:nä. Lämpötila nostettiin 160 °C:eseen.
Noston jälkeen myötävirtakeiton alkaliannos johdettiin keittimeen ja kierrätystä jatkettiin 70 minuuttia noin 1000 kPa:n paineessa.	Esikuumennettu valkolipeäannos tuotiin keittimeen siten että samanaikaisesti poistettiin vastaava määrä nestettä vakio nestepuusuhteen pitämiseksi. Lämpötila nostettiin 170 °C.
Vastavirtavaiheessa pumpattiin laimeaa valkolipeää keittimeen ja otettiin mustalipeää keittimest 36 ml/min. Vastavirtavaihe kesti 60 minuuttia.	
Vastavirtaisessa keitto/pesuvaiheessa käytettiin vielä laimeampaa valkolipeää vastavirtavaiheen tavoin samalla pumppausnopeudella, kunnes H-tekijätavoite saavutettiin (Tämä vaihe kesti n. 160 min., kun H-tekijätavoite oli 2000).	Keittoa jatkettiin kunnes H-tekijätavoite (n.500) saavutettiin.





**Kuva 11.** Lämpötila-, alkali- ja sulfidiprofiilit tyypilliselle ITC-keiton (Kuva 11 A) ja modifioidun eräkeiton (kuva 11 B) simulaatioille/36/. Kuvan symbolit: • liuosten pitoisuudet ▲ näennäiset kulutukset. Ylimpien kuvien katkoviivat kuvaavat keittonesteidien vaihtokohtia ja kemikaaliannostustapojen muuttumista siirryttäessä keittovaiheesta toiseen. Kuvan olosuhteilla tutkitut eukalyptushakkeet keittyivät kappalukuun 10 /36/.

Pakkokiertokeitimillä tehdyistä modifioidun keiton tutkimuksista voidaan mainita lisäksi Jiang, et al. tekemä tutkimus, jossa 20 litran pakkokiertokeitimellä jäljiteltiin jatkettuja jatkuvatoimisia keittoprosesseja /37, 38/. Siinä vastavirtakeittoa simuloitiin samanaikaisella keittoliuoksen poistolla ja uuden tuoreen liuoksen annostuksella (Na<sub>2</sub>O väkevyys oli 9,3 - 15,5 g/l). Poiston ja annostuksen virtausnopeus vaihteli välillä 145 - 180 ml/min, millä saatiin halutut alkalien ja liuoksen ligniinin profiilit.

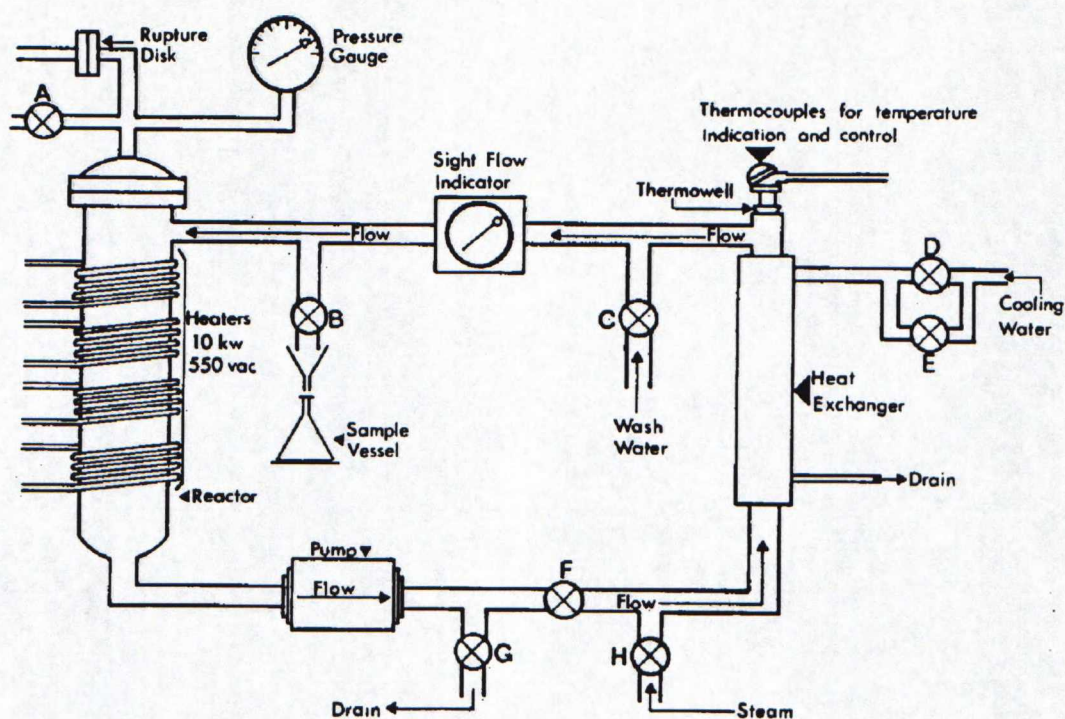
Kettunen, et al. tutkivat jatkuvatoimisen keiton alkaliprofiilien merkitystä TKK:n 18 litran pakkokiertokeitimellä /39/. Keiton alkaliprofiileja muutettiin siten, että alussa tai puolessa välissä varsinaista keittovaihetta osa mustalipeästä otettiin keittimestä ja tilalle laitettiin typen avulla vastaava määrä valkolipeää (Kuva 11). Tehtyjä keittoja kutsuttiin erilaisten alkaliprofiilien keitoiksi, eikä siis jatkuvatoimisten keittojen simuloimiseksi, kuten Jiang, et al. tekivät. Perusajatuksena kuitenkin oli saatujen keittymiserojen yleistettävyyden myös tehdasmittakaavaisiin jatkuvatoimisiin keittimiin.

### 3.4 Keittoastian suoraan sähkölämmitykseen perustuva pakkokiertokeitin

Tässä vuonna 1976 esitellyssä keittimessä keskeisenä piirteenä on automatisoinnin vieminen hyvin pitkälle. Käyttäjän tarvitsee vain laittaa hakkeet ja lipeät keittimeen, valita nostonopeus ja keittoaika, minkä jälkeen automaation huolehtii keitosta, loppunäytteenotosta ja loppupesusta /41/. Koska keitin ei tarvitse keittonaikaista valvontaa, niin keitto voidaan tehdä myös siten että pestyt hakkeet otetaan keittimestä vasta seuraavana aamuna.

Keittolaitteisto (kuva 12) koostuu keittimestä, minkä ympärillä on yhteensä 10 kW lämpövastukset, kiertoputkistosta ja -pumpusta sekä kiertoputkistoon asetetuista virtausensäätöventtiileistä, pienikokoisesta lämmönvaihtimesta, lämpötila-anturista, virtausmittarista ja höyry-, pesu-, näyte- ja nesteen poistoyhteestä. Lämmönvaihtimeen syötetään kylmää vettä, keiton aikana se toimii lämmönsäädön apuna ja keiton lopetuksissa jäähdyttimenä. Lisäksi keittoastian yläosaan on yhdistetty kaasausventtiili (A) (avautuu sähkökatkoksen sattuessa paristojensa avulla automaattisesti), paineen osoitin ja varolaitte (Rupture Disk).





**Kuva 12.** Automatisoitu suoraan sähkölämmitykseen perustuva pakkokiertokeitin /41/.

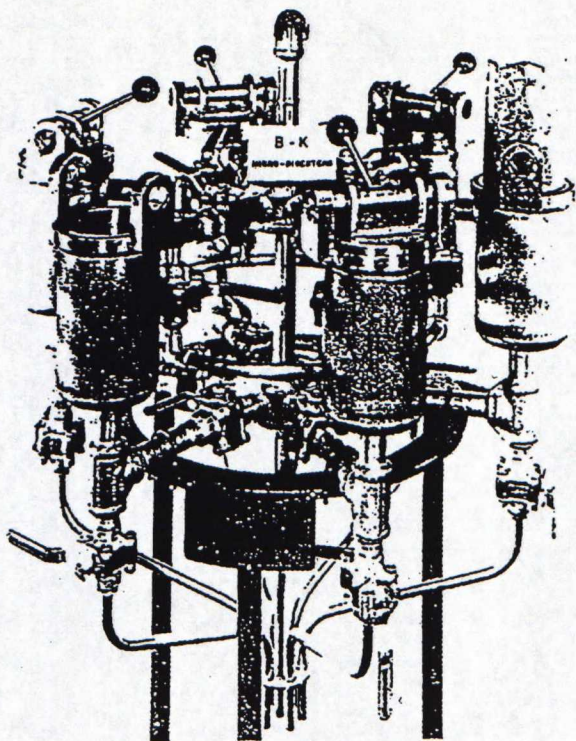
Säätöjärjestelmän avulla on valittavissa eri ajastimilta nosto- ja keittoajan, koko keittoajan, lämmityksen alkuvaiheiden kestoajat, näytteenottohetken ja hakkeiden pesuajan keittimessä. Säätöjärjestelmässä on lisäksi lämpötilanäyttö ja -piirturi, turvatermostaatti vastusten ylikuumentumista varten ja käyttökytkimet mm. käsiajoa varten. Lämmönsäätöjärjestelmä pitää artikkelin mukaan keittolämpötilan asteen sisällä halutusta. Rinnakkaisten keittojen kappelukuvaihTELUN sanotaan olevan yhden kappelukuyksikön sisällä.

### 3.5 Mikrokeitinlaitteisto

#### 3.5.1 Laitteiston kuvaus

Mikrokeitiminä on esitelty vuonna 1970 keitinlaitteisto, joka kytketään tavallisen pakkokiertokeitin lämmönvaihtimen ja keittoastian väliin. Kuva 13 on mikrokeitinlaitteistosta. Liuos tulee lämmönvaihtajasta keskellä olevaan jakoyhteeseen, joista se siirtyy alempien vaakasuorien linjojen kautta keittimeen ja poistuu ylemmistä linjoista varsinaiseen keittimeen. Keittimestä pystysuoraan alas lähtevä linja on keitinten tyhjennystä varten. Mikrokeitimien välissä olevasta ympyrän muotoisesta kylmävesiputkesta voidaan suorittaa keitinten ylhäältä alas tapahtuva huuhtelu.





**Kuva 13.** Mikrokeitinlaitteisto /23/.

Keittolaitteisto koostuu siis lipeän jakosysteemistä ja kuudesta litran keittoastiasta, jotka ovat kytketty pakkokiertokeitin keittonesteen kiertoon rinnakkain. Varsinaisen pakkokiertokeitin lämmittimestä tuleva liuosvirta jaetaan jakolaitteen ja laitteiston symmetrisen muodon avulla kuuteen yhtä suureen osaan, jotka menevät eri keittoastioihin. Keittoastioiden jälkeen liuosvirrat yhtyvät jälleen siirtyen varsinaiseen pakkokiertokeittoastiaan /23/. Mikrokeittoastiat on varustettu käsiventtiileillä siten, että ne voidaan yksittäin irrottaa keitin- tai lämmityskierrosta. Tällöin hakkeiden jäähdytys ja pesu on mahdollista suorittaa muiden mikrokeitinten ja varsinaisen keittimen ollessa edelleen paineellisena nestekierrossa.

### *3.5.2 Mikrokeitin käyttötavat, pommi- ja pakkokiertokeitot*

Laitteistolla voidaan tehdä ensinnäkin pommikeittoja, jolloin mikrokeittoastioiden sisään laitetaan 735 ml:n keittopommit ja pakkokiertokeitin lämmittimestä mikrokeittoastioihin kulkeva neste toimii mikrokeittoastioiden sisään asetettujen pommien haudenesteinä. Toisaalta mikrokeittimiä voidaan käyttää myös pakkokiertokeitiminä. Tällöin mikrokeittoastioiden sisään laitetaan hakekorit, jolloin eri mikrokeitimillä on siis yhteinen keittoliipeä. Myös varsinaisessa, mikrokeittimiä huomattavasti suuremmassa (30 - 40 litran) keittoastiassa voi olla haketta tai sitten se voi toimia pelkästään osana putkistoa.



### 3.5.3 Sopivuus eri tutkimuskohteisiin

Tälle mikrokeinlaitteistolle on sen esittelyartikkelissaan /23/ annettu seuraavia käytötapoja, kun keitot suoritetaan pakkokiertokeittoina:

- Eri puulajien tai puun osien mahdolliset synergiset vaikutukset keittoon. On huomioitava varsinaisen keittimen sisällön (8000 g vs. 600 g) dominoiva merkitys yhteisen keittoliuoksen ominaisuuksiin.
- Hakepalakokojakauman vaikutus keittymiseen samassa keitossa.
- Tutkimukset, joissa halutaan ottaa massanäytteitä kesken keittoa (yksi mikrokein on yksi näyte).
- Esitutkimuksiin
- Tutkimuksiin tehdasympäristöissä. Mikrokeinlaitteisto voidaan sijoittaa kierto-  
linjaan, jolloin voidaan tutkia aidolla keittokierron lipeällä eri hakkeiden ominai-  
suuksien muuttumisen vaikutusta keiton saantoon ja massan laatuun.
- Läpivirtauskeittoihin

Mikrokeinlaitteisto soveltuu seuraaviin tutkimuksiin haudekeittimenä:

- Muiden haudekeittojen tapaan keittoliuoksen tai hakkeen ominaisuuksien vaihtelun merkityksen tutkimiseen.
- Tehtaan kemikaalikiertoon asennettuna erilaisten keittoliuosten merkitystä arvioitaessa.
- Mikrokeinastioita voidaan käyttää myös keitonaikaisiin nestelisäyksiin.

### 3.5.4 Keittojen tasaisuus keittosaannon perusteella arvioituna

Keittoliuoksen on todettu jäähtyvän mikrokeittimissä pakkokiertokeittoissa keittolämpötilassa 172 °C noin 0,5 °C. Tästä johtuen varsinaisen pakkokiertokeittimen keittolämpötila on noin puoli astetta mikrokeittimien keittolämpötilaa alempi, mikä nostaa esimerkiksi havupuilla varsinaisen keittimen keittosaantoa 0,1 - 0,2 prosenttiyksikköä mikrokeittimiin verrattuna/23/.

Erittäin homogeenisiksi tehdyillä käsin leikatuilla havuhakkeilla (*Tsuga heterophylla*) samoista keitoista rinnakkaisista mikrokeittimestä mitattu saantoeroa oli alle 0,1 prosenttiyksikköä, joten ilmeisesti lipeäjako onnistui melko hyvin kuudelle eri keittimelle. Samoilla hakkeilla kahdesta eri keitosta mitattu saannon vaihtelu oli keittolämpötilan ollessa 170 °C 0,4 prosenttiyksikön luokkaa. Keittolämpötilan kasvattaminen kasvatti ja vastaavasti lämpötilan alentaminen pienensi saantoeroja keittojen välillä. Tämä 0,4 prosenttiyksikön saantoero kuvanee siis lähinnä lämmityksen toistettavuutta.

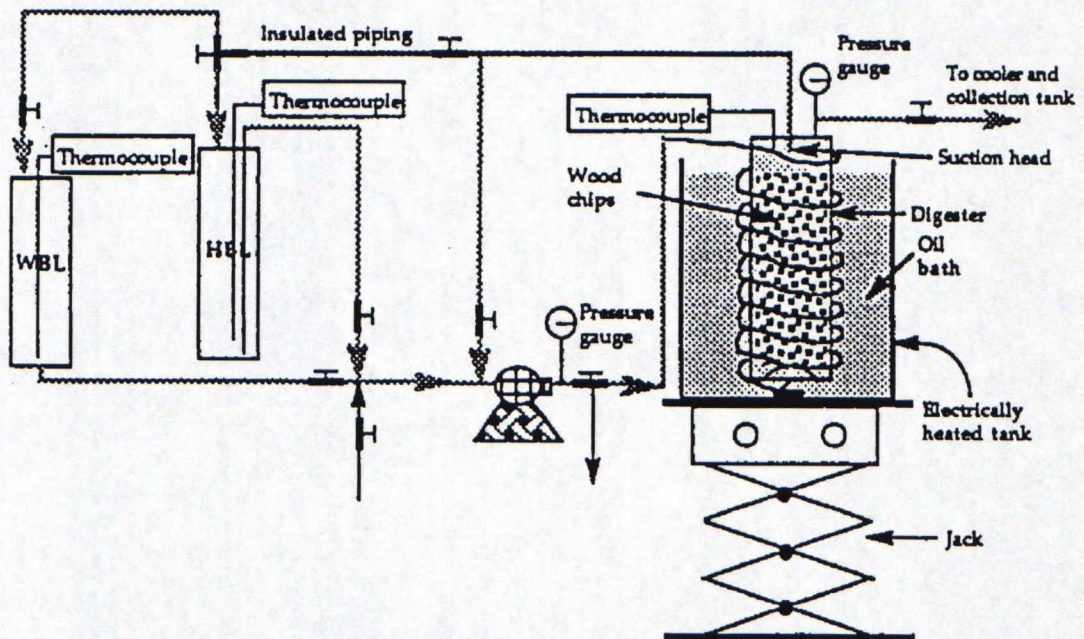
Jos hakeaineen laatu vaihteli (pinta/sydänpuu, jne.), mutta kosteus ja hakegeometria pysyi samana oli saannon vaihtelu samoissa keitoissa kahdesta rinnakkaisesta mikrokeittimestä luokkaa 0,3 prosenttiyksikköä /23/. Sen sijaan hakekosteuden ja -koon vaihdellessa saanto vaihteli samassakin keitossa noin prosenttiyksiköllä /23/. Nämä tulokset voitaneen yleistää kaikkiin mikrokokoluokan keittimiin.



### 3.6 Läpivirtauskeitin

Läpivirtauskeittimessä suhteellisen pienen keittimen läpi ajetaan koko ajan tuoretta liuosta. Koska liuoksen ominaisuudet eivät juurikaan ehdi muuttua keittimessä, niin läpivirtauskeitoissa tunnetaan keittokemikaalien profiilit melko tarkkaan. Läpivirtauskeittimet on yleensä asetettu johonkin hauteeseen, jolloin virtausnopeuksien ei tarvitse lämmönsäädön takia olla liian suuria.

Läpivirtauskeittimen hauteena voi toimia esimerkiksi pakkokiertokeitin, tai sitten läpivirtauskeitin voidaan asentaa omaan hauteeseensa. Esimerkiksi Keskuslaboratoriossa on käytetty pakkokiertokeittimenäkin toimivaan liuosastiaan asennettua läpivirtauskeitintä, jolloin hauteena on toiminut astiassa kiertävä vesi /4/. Kuvassa 14 on esitetty RDH-keiton tutkimisessa käytetty /42/ erilliseen öljyhauteeseen asennettu 1,5 litran läpivirtauskeitin syöttöliuossäiliöineen.



**Kuva 14.** 1,5 litran läpivirtauskeitin, jota on käytetty perinteisen ja RDH-keiton tutkimiseen /42/.

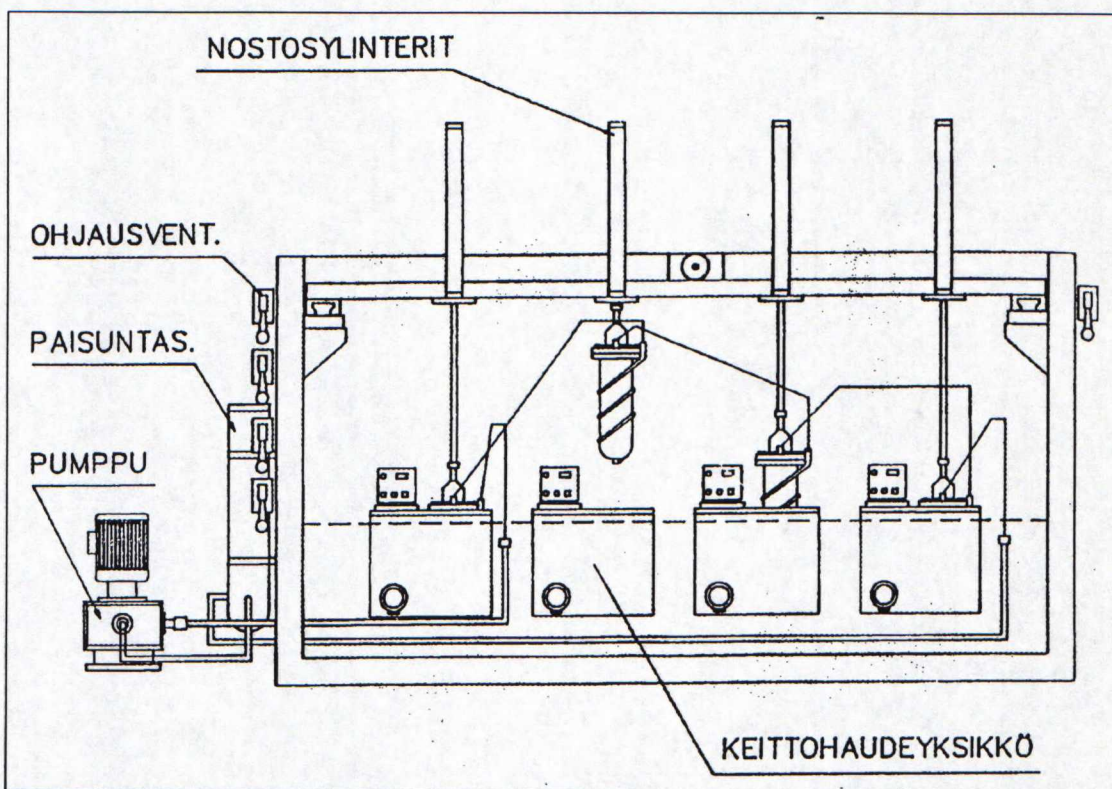
Keittomenetelmässä keiton aikana uudelleen absorboituvia ainesosia (kuten ksylaani ja ligniini) poistuu keittimestä jatkuvasti, joten läpivirtauskeittojen olosuhteet eivät oikein vastaa teollisuuden keittoprosessien olosuhteita. Kuitenkin esimerkiksi reaktionopeusvakioiden määrittämiseen pyrittäessä /5/, vakio-olosuhteiden aikaansaaminen on tärkeämpää kuin todellisen keittoprosessin tarkka simulointi.

Lönnerberg'n et al. tutkimuksessa 0,5 litran keitin sijoitettiin 250 litran öljyhauteeseen /5/. Keittoliuos pumpattiin keittimeen 40 litran kemikaalisäiliöstä mäntäpumpun avulla nopeudella 0,25 l/min. Keittimeen tulevaa liuosta lämmitetään aluksi epäsuoralla höyrylämmityksellä 12 metrin pituisessa putkessa ja sitten öljyhauteeseen sijoitetussa toisessa 12 metrin putkessa.



### 3.7 Öljyhaude-sarjakeitin 'Amalia'

TKK:ssa käytettävässä 'Amalia'-keittimessä samaa keittoliuosta kierrätetään neljän erillisen sarjaan kytketyn keitinyksikön läpi /16/. Jokaista keitinyksikköä, kooltaan 3 litraa, lämmitetään omalla öljyhauteellaan. Aineensiirto perustuu pakkokiertoon, eli keittoneste pumpataan halutussa järjestyksessä sarjassa olevien keittimien läpi. Ennen keittoyksiköihin menoa liuos ohjataan hauteessa kiertävään lämmönvaihtoputkeen, missä kiertävä liuos saavuttaa likimain hauteen lämpötilan. 'Amalia' keitin on esitetty kuvassa 15.



Kuva 15. TKK:n 'Amalia'-keitin /16/.

Keittokiertoa pystytään muuttamaan kesken keittoa esimerkiksi ottamalla yksi keitin irti kierrosta tai vaihtamalla keittonesteen kiertojärjestystä keittimiin. Keitinyksiköiden raaka-ainekoostumusta voidaan vaihdella, samoin keittoliuoksen virtausnopeus on säädettävissä. Keitinyksiköt on varustettu näytteenottoventtiileillä.

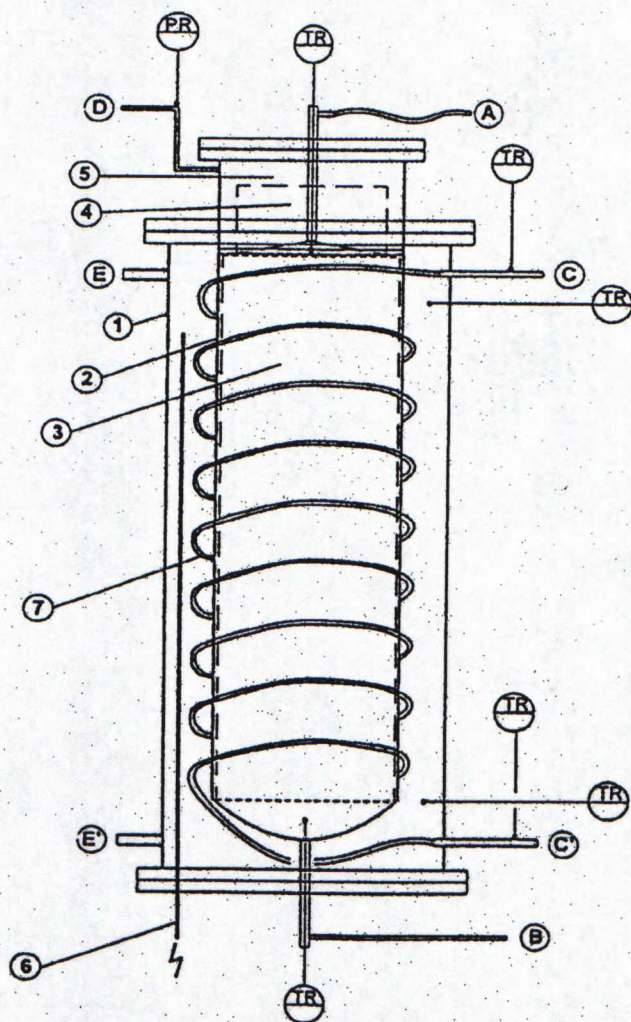
'Amalia'-keitintä voidaan pitää tietyssä mielessä autoklaavi-, pakkokierto- ja läpivirtauskeittimien yhdistelmänä, sillä tällä keittimellä on mahdollisuus keittää kaikilla näillä keittotavoilla tai käyttää näiden yhdistelmiä. Keitinsysteemillä on pyritty saamaan selville mm. keiton anomalioita, eli mm. miten tehdasmittakaavaisessa massanvalmistuksessa keittimen sisällä olevat aineen- ja lämmönsiirron epätasaisuudet vaikuttavat yhdessä keitossa esiintyviin keittymiseroihin /16/.



### 3.8 Vesivaipallinen syrjäytyskeitin

#### 3.8.1 Syrjäytyskeittimen rakenne

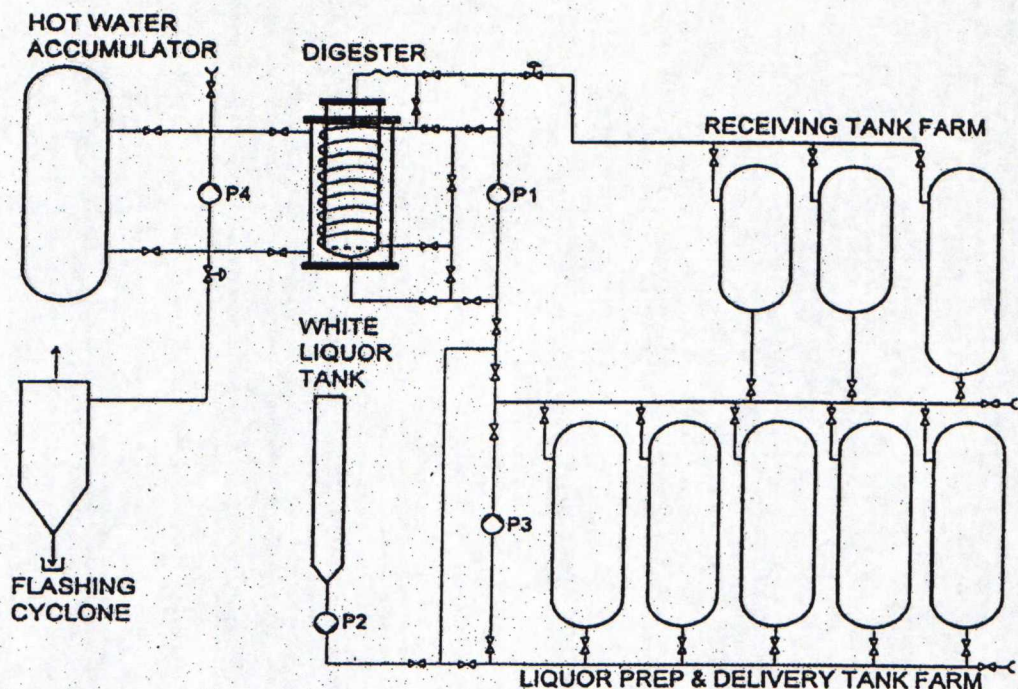
Kuvassa 16 on esitetty vesivaipallisen syrjäytyskeittimen rakenteen periaate. Keittastia (2) on sijoitettu lähes kokonaan vesivaipan (1) sisään. Hakekori (3, reunat katkoviivalla) on sijoitettu vesivaipan ympäröimälle alueelle. Hakekorin yläpuolella on teflonpala (4), mikä toisaalta erottaa nesteen ja kaasutilan (5) ja toisaalta keittimen poikkipinta-alaa pienentämällä mahdollistaa nestetilavuuden tarkan mittauksen paine-eroanturin avulla. Keittimen vaippavedensähkölämmitin (6) on lämpötilan ylläpittoa ja hidasta ostoa varten. Lämmönvaihtokierukassa (7) keittimeen tuleva tai keittimessä kierrätettävä liuos saavuttaa likimain vaipan lämpötilan.



Kuva 16. Vesivaipallisen syrjäytyskeittimen periaate /2/.

Normaalissa lämmitys- ja keittokierrossa keittonestettä kierrätetään alayhteestä (B) kiertopumppuun ja sieltä lämmönvaihtokierukan kautta keittimen yläosaan (A) teflonpalan läpi kulkevaa putkea pitkin teflonpalan alaosaan lipeän jakolevylle ja siitä jälleen hakekorin läpi keittimen alaosaan. Keitintä voidaan kaasata yhteen D kautta. Syrjäytyskeittämöön kuuluu vaipallisen keittimen lisäksi monia muita osia, joista osa on esitetty kuvassa 17.





Kuva 17. Syrjäytyskeittäjä /2/.

Kuvassa 17 näkyy keittimen vasemmalla puolella lämmönsäätösystemin periaate. P4 on vaippaveden kiertopumppu ja sen vasemmalla puolella on kuumavesiakku. Vaippavettä kierrätetään koko keiton ajan jatkuvasti. Kiertonopeus on suuri ja tästä syystä vaippa on hyvin sekoittunut. Vaipan lämpötilan nopeissa nostoissa ja syrjäytöksissä, kun tarvitaan nopeasti suuria lämpömääriä, voidaan lisälämpöä ottaa kuumavesiakusta avaamalla akun ja vaippavesikierron välisiä venttiileitä. Vaippaveden kiertoon pumpun painepuolelle on usein liitetty myös kylmällä vedellä toimiva lamelilämmönvaihdin (ei ole kuvassa), jolla vaipan lämpötilaa pystytään tarvittaessa myös alentamaan.

Keittimen kiertopumppu (kuva 17, P1) on yhdistetty kiertoputkistoon. Mäntätoimisen kiertopumpun pumppausnopeus on tarkasti säädettävissä. Säätö voidaan tehdä pumpun kierrosnopeutta tai iskunpituutta muuttamalla, joten säätöalue on varsin laaja. Mäntätekniiikan ansiosta pumpun nostokorkeus on niin suuri että nesteitä voidaan pumpata jopa paineettomista säiliöistä suoraan normaaliin keittopaineeseen. Kiertoputkisto mahdollistaa virtaussuunnan vapaan valinnan ja esilämmityskierron ohituksen.

Keittämöön kuuluu valkolipeän tai muiden liuosten tarkkaa annostelua varten paineeton mittalasilla varustettu valkolipeän annostelusäiliö ja -pumppu (P2), joka on yhdistetty liuosputkistoon. Myös valkolipeäpumppu on mäntätoiminen, joten pumppausnopeus ei juurikaan riipu keittimen paineesta. Valkolipeäpumppu on yhdistetty venttiilein (usein myös takaiskuventtiili) lipeäputkistoon.

Kuvan 17 keittämössä /2/ lipeiden vastaanotto- ja syöttösäiliöt ovat erotettu toisistaan siten, että vakioaineisten syrjäytysten mahdollistama syrjäytysventtiili (automaattiventtiili kuvassa 17 keskellä ylhäällä) on yhdistetty vain lipeän vastaanottosäiliöihin. Kuvasta 17 puuttuu syrjäytetyn lipeän jäähdytin, mikä on sijoitettu syrjäytysventtiilin jälkeen. Lipeäjäähdyttimen avulla syrjäytyneet liuokset voidaan ottaa myös



keittosysteemistä ulos erillisiin paineettomiinkin astioihin, kuten muovikanistereihin. Otettaessa poistuvat liuokset ulos keittämöstä voidaan lipeänvastaanottosäiliöitäkin käyttää lipeäsyöttöihin, joten esimerkiksi kuvan 17 keittämössä voidaan käyttää kahdeksaa eri syöttösäiliötä. Tämä helpottaa useamman keiton tekoa saman päivän aikana.

### *3.8.2 Vaipallisen syrjäytyskeittimen lämmönsäätö*

Syrjäytyskeittimen lämmönsäätö perustuu konduktioon ja konvektioon, eli toisaalta lämmön johtumiseen keittimen vaipan ja keittimen sisällön välillä ja toisaalta lämmön kulkeutumiseen keittoliuoksen mukana keittimeen ja keittimestä ulos. Pidettäessä keittimen lämpötila tasaisena riittää periaatteessa vaipan lämpötilan vakiona pito, kuitenkin vaippa ei käytännössä ympäröi keittimen yläosaa kokonaan, joten suurten keittymiserojen välttämiseksi pienehkö keittoliuoksen virtaus on tarpeellinen.

Lämpötiloja muutettaessa konvektion merkittävyys kasvaa, esimerkiksi nostoissa riittävä keitinkierto on välttämätön. Vaippa-rakenteen perusajatuksena on kuitenkin se, ettei keittimen lämmönsäätö olisi teollisia keittimiä riippuvaisempi lipeävirtauksesta. Eli vaikkei ulkopuolisestikin lämmitetylläkään keittimellä ei pystytä saamaan keiton lämpötilaprofiilia täydellisesti riippumattomaksi keitinkierrosta, päästään kuitenkin samoihin kiertonopeuksiin mihin yleisimmissä teollisissa sovellutuksissa.

### *3.8.3 Syrjäytystehokkuuksiin vaikuttavia asioita*

Eri tehdasmitan syrjäytyskeittoprosesseja jäljiteltäessä pitäisi kiinnittää luonnollisesti huomiota mm. siihen, pystytäänkö syrjäytykset tekemään myös laboratorioissa yhtä tehokkaasti (tai tehottomasti) mitä tehtaissa. Syrjäytystehokkuuksia voidaan tarkastella mm. lämmön, alkalien tai kuiva-aineen syrjäytymisen suhteen. Syrjäytystehokkuuksiin vaikuttavat toisaalta lipeävirtauksen kanavoituminen ja eri puolella syrjäytysvyöhykettä olevien lipeiden sekoittuminen. Lisäksi syrjäytystehokkuuksiin vaikuttaa hakkeiden sisältämä lämpö- ja ainemäärä. Lämpö siirtyy hakkeista pois tai hakkeisiin huomattavasti tehokkaammin kuin esimerkiksi alkali. Mm. tämän johdosta lämmönsyrjäytystehokkuudet ovat alkalien tai kuiva-aineensyrjäytymistehokkuuksia korkeammat.

Hakkeiden 'panttaavasta' vaikutuksesta johtuen virtausnopeuden hidastaminen voi tietyissä tapauksissa parantaa syrjäytymistä. Myös turbulentsisuus on vähäisempää hitailla virtausnopeuksilla. Kanavoitumista vähentää hakkeiden tasainen ja suhteellisen tiivis pakkaus keittimeen. Myös nesteiden tiheyseroilla voi olla merkitystä. Syrjäytyskokeissa on saatu huomattavasti paremmat syrjäytystehokkuudet suoritettaessa syrjäytys sellaisesta suunnasta, että kevyempi neste on ollut tiheimmän nesteen yläpuolella /21/.

Vaipallisissa syrjäytyskeittimillä voidaan lämmönsäädön epäonnistumatta tehdä syrjäytykset niin pienillä nopeuksilla kuin vain halutaan. Myös syrjäytyssuunta voidaan valita vapaasti. Muun muassa näiden tekijöiden ansiosta syrjäytyskeittimillä päästään huomattavasti pakkokiertokeittimiä lähemmäksi todellisia syrjäytystehokkuuksia, millä on vaikutusta mm. massan vaaleuteen /2/.

### *3.8.4 Suomessa asennetut vaipalliset syrjäytyskeittimet*

Vaipalliset syrjäytyskeittimet ovat yleistyneet Suomessa viime vuosina melko paljon. Niin hakkeiden laitossa keittimeen, vaipan lämmityksessä, keittämön koossa ja lisä-



laitteiden määrässä kuin myös keittimen automaatioasteessa on keittämökohtaisia eroja. Taulukossa 3 on esitetty suomessa käytettävät vaipallisiin syrjäytyskeittimiin perustuvat keittämöt.

**Taulukko 3.** Suomessa kesään 1999 mennessä käyttöön otetut syrjäytyskeittämöt.

Keittämö	Erikoisuudet
Lännen laboratoriot, K1 (20 l) /2/	Kuuden käyttövuoden aikana yli 2000 keittoa
Lännen laboratoriot, K2 (25 l)	
KCL, uusi keittämö /3/ (25-30 l)	Paineluokka 40 baaria, asennettu puristusmäntä, ei hakekoria - tyhjennys märkäimurilla. Vaipan lämmönsäätö kahden KV-akun avulla.
TKK:n keittämö (25 l)	Ohjausjärjestelmänä Honeywell'in järjestelmä.

#### 4 YHTEENVETO ERI LABORATORIOKEITINTYYPEISTÄ

Laboratoriokeittoihin käytetyt keittimet voidaan jakaa kahteen pääluokkaan. Autoklaavit ovat pommityylisiä, eli niihin annostellaan hakkeet ja keittokemikaalit ennen keittoa, eikä keittoneste kierrä keittimen ulkopuolella. Ulkopuolisen pumpun avulla tehtävään keittonesteen kiertoon perustuvia keittimiä ovat pakkokiertokeitin, vesi-vaipallinen syrjäytyskeitin ja läpivirtauskeitin sekä sarjakeitin 'Amalia'. Koska autoklaavit ovat keiton aikana täysin suljettua, ei niiden avulla voi periaatteessa simuloida keittoprosesseja, joihin kuuluu keiton aikaisia keittonesteen vaihtoja, eli perinteinen eräkeitto on ainoa sulfaattikeittotapa mitä niillä voi simuloida. Modifioituja keittoja tutkittaessa ja etenkin eri keittomenetelmiä toisiinsa verrattaessa onkin käytetty erityisesti pakkokierto- ja syrjäytyskeittimiä.

Autoklaavikeittimiä ovat yksittäin pyöritettävä ns. pyörivä keitin sekä ilma-, vesi- ja öljyhauteissa pyöritettävät haudekeittimet. Hauteisiin on sijoitettu sekoitustelineet, joihin mahtuu samanaikaisesti useampi keittopommi. Pyörivässä keittimessä lämmitys perustuu keittoastian ja sen eristeiden väliin asennettuihin sähkövastuksiin, haudekeittimissä lämpö siirtyy sähkölämmitteisen hauteen läpi keittimiin. Vaikkei autoklaaveilla pystytäkään simuloimaan modifioituja eikä jatkuvatoimisia keittoprosesseja, käytetään niitä kuitenkin melko paljon. Niiden suosio perustuu pitkälti yksinkertaisen rakenteen tuomaan helppokäyttöisyyteen. Autoklaaveja on käytetty myös happidelignifiointeihin. Haudekeittimien etuina muihin keittosysteemeihin on toisaalta se, että yhdellä lämmityksellä saadaan tehtyä monta eri keittoa ja toisaalta pienten keittopommien mahdollistama tutkimus silloinkin, kun hakkeesta tai muusta raaka-aineesta on pulaa.

Pakkokiertokeittimessä lämmitys perustuu yleensä pelkkään liuoksen lämmitykseen. Läpivirtaus-, syrjäytys- ja Amalia-keittimissä lämmitys perustuu sekä hauteen että kiertoliuoksen lämmitykseen. Modifioitujen keittojen tutkimuksessa on käytetty lähinnä pakkokierto- ja syrjäytyskeittämöitä, jotka sisältävät keittokiertojen simulomiseksi varsinaisten keittinten lisäksi mm. lämmitettäviä paineellisia lipeäsäiliöitä, erillisen valkolipeän annostelusysteemin ja mahdollisesti syrjäytysventtiilin ja lipeäjähdyttimen lipeiden ulosottoa varten. Amalia-keittimellä on tutkittu lähinnä syitä tehdasprosessien epätasaisuuksiin eli anomaliaihin. Erityisesti jatkuvatoimisten keittojen simulomiseksi on joihinkin pakkokiertokeittimiin ja syrjäytyskeittimiin asennettu hakkeiden puristusmäntä.



## KOKEELLINEN OSA

### 5 UUDEN KEITTÄMÖN SUUNNITTELU JA KÄYTTÖÖNOTTO

#### 5.1 Suunnittelun lähtökohdat

##### 5.1.1 Keitintyyppin valinta

Keitintyyppiksi valittiin vesivaipallinen syrjäytyskeitin, koska sillä pystytään jäljittelemään hyvin eri sellunvalmistusprosesseja. Perinteisestä eräkeitosta poiketen modifioituissa ja jatkuvatoimisissa prosesseissa lipeät syötetään keittoihin useassa eri vaiheessa ja prosessissa esiintyy mm. neste-nestesyrjäytyksiä sekä nopeita paineen ja lämpötilan muutoksia. Myös perinteisen eräkeitto- ja jatkuvatoimisen prosessin jäljittelyssä syrjäytyskeitin tarjoaa etua pakkokiertokeitintä laajemmalla lipeän kierrätysnopeuden muuntelumahdollisuudellaan.

Perinteisesti laboratoriokeitoissa aineensiirto lipeästä on ollut liian hyvä. Esimerkiksi pakkokiertokeitimillä kierrätettävän lipeän kiertonopeus on ilmeisesti ollut teollisiin keittämiin nähden aivan liian korkea, mikä on osaltaan johtanut "liian hyviin" laboratoriokeitto-olosuhteisiin. Toisin sanoen esimerkiksi keiton alkuvaiheessa saatavat keittyvyserot on "pilattu" ylitehokkaalla lipeän kierrätyksellä. Uudella syrjäytyskeitillä pystytään arvioimaan tämän oletuksen paikkaansapitävyyttä, sillä hautteellisessa keittimessä lipeän kierrätysnopeutta voidaan vaihdella ja lipeäkierto voidaan jopa pysäyttää ilman keittolämpötilan rajua laskua. On kuitenkin syytä epäillä, että on olemassa joku minimivirtausnopeus, minkä alle ei kannata mennä, jotteivät olosuhteet keittimen sisällä muutu liian heterogeenisiksi.

Syrjäytyskeitintekniikalla päästään perinteisiä pakkokiertokeitimiä huomattavasti lyhyempiin keittolämpötilan nostoaikoihin, mikä tarjoaa uusia mahdollisuuksia esimerkiksi jatkuvatoimisen keiton jäljittelyyn. Lämpötilan noston nopeus perustuu 220 litran kuumavesiakun käyttöön sekä johtumis- ja syrjäyttävän lipeäkiertolämmityksen yhdistelmään. Esilämmitettävillä liuossäiliöillä voidaan tarvittaessa vielä tehostaa esimerkiksi syrjäytyksin tapahtuvia lämpötilan nostoja.

##### 5.1.2 Keittimen koko

Keitinkoko valittiin riittävän suureksi, jotta keittotulokset olisivat mahdollisimman luotettavia myös heterogeenisiä tehdashakkeita käytettäessä. Lisäksi keitinkoon valinta perustui keitosta saatavaan massamäärään. Hakekorin sisätilavuus on noin 25 litraa, joten siihen mahtuu pakkausasteesta ja puulajista riippuen 4-5,5 kg abs. kuivaa haketta. Näin keittimessä voidaan käyttää heterogeenistäkin haketta, esimerkiksi todellista tehdashaketta tai ylipaksua hakejaetta ilman, että tulosten hajonta kasvaa liikaa.

Keittimestä saadaan noin 2,5 kg massaa, mistä saadaan valkaisunkin jälkeen riittävästi massaa esimerkiksi TKK:n Voith-Sulzer -tyyliseen Escher-Wyss -jauhatukseen. Voith-Sulzer -tyyppisen jauhatuksen etuna on PFI- tai Valley-jauhatuksia paremmat mahdollisuudet tehdasjauhatusten simulointiin.



### *5.1.3 Rakenmustapa ja sijoitus*

Keitin on sijoitettu vanhan pakkokiertokeitämön yhteyteen. Keittämön rakentamisessa hyödynnettiin mahdollisimman pitkälle käytöstä poistetun pakkokiertokeitimen jäljiltä olemassa olevia osia (neljä paineastiaa, kiertopumppu, lämmönvaihdin ja virtausmittaus). Uusista laitteista itse keitin ostettiin valmiina pakettina Ruotsista, muut uudet paineastiat, lämmittimet, lämmönvaihtimet, pumpput, erilaiset anturit sekä käsi- ja automaattiventtiilit hankittiin eri toimittajia kilpailuttamalla. Keitin on yhdistetty muihin liuossäiliöihin tulo- ja poistoputkiston avulla. Laitteet ja putkistot ovat pääosin Puunjalostustekniikan verstaan asentamia. Myös keittimen sisäosissa käytetyt teflonosat ja hakekori siirto- ja tyhjennyslaitteineen on verstaan omaa työtä.

### *5.1.4 Keittimen automaatiojärjestelmä*

Keittämön automaatiojärjestelmäksi valittiin Honeywell'in Measurex-systeemi. Honeywell toimitti ja asensi laitteet ja ohjelmiston sekä tarjoaa TKK:n henkilökunnalle koulutusta laitteiden käytöstä ja ylläpidosta. Järjestelmä on suunniteltu sellaiseksi, että keittämön käytön tunteva, teknisen koulutuksen saanut henkilö, pystyy parin viikon kurssituksen jälkeen tekemään säätöjärjestelmään mittaviakin muutoksia.

Samaan automaatiojärjestelmään on tarkoitus myöhemmässä vaiheessa liittää myös muita konehallin laitteita, kuten paperikone tai esimerkiksi muita keittimiä ja lähitulevaisuudessa mahdollisesti uusittava kuitulinja. Järjestelmä tarjoaa siis tuntuman tehdastason automaatioon sekä hyvät mahdollisuudet tämän keittämösovelluksen jatkokehitykseen.

## **5.2 Laitteiston käyttöönotto**

Eri laitteiden, kuten venttiilien, pumppujen, lämmittimien ja antureiden toiminta tarkistettiin ja säädettiin. Keittämölle tehtiin paineastiatarkastus ja käyttötösteinä muutama vesi- ja harjoituskeitto sekä neljän SuperBatch-tyyppisen keiton sarja. Testit osoittivat keittimen vastaavan pääosin suunnittelussa asetettuja tavoitteita. Keittimellä päästiin hallittuihin nopeisiin lämpötilan nostoihin ja keittimellä pystytään tekemään liuosten vaihtoja myös neste-nestesyrjäytyksinä.

### *5.2.1 Venttiilien tarkastus ja säätö*

Keittämöllä käytetään automaattiventtiileitä lämmityksensäätöihin höyryventtiileinä (3 kpl), osalla säiliöistä kaasausventtiileinä (A-säiliö, keitin ja kuumavesiakku) sekä keittimen syrjäytysventtiilinä. Näiden seitsemän automaattiventtiilin lisäksi käytössä on yli sata käsiventtiiliä sekä lukuisia varo- ja takaiskuventtiileitä. Kolmella höyrylämmönvaihtajalla on lisäksi lauhteenpoistovenntiilit, mitkä siis toimiessaan päästävät lävitseen nesteen mutteivät höyryä. Testien ja testikeittojen aikana on takaiskuventtiileitä lukuunottamatta kaikista venttiilityypeistä löytynyt venttiileitä, joilla esiintyi ainakin jonkin verran säätö- tai huoltotarvetta.

Automaattiventtiileistä käytetään kunnostettuja Honeywell'in venttiileitä sekä uusia Badgerin venttiileitä. Käsiventtiileistä käytetään neula- ja palloventtiileitä. Automaattiventtiilit säädettiin sulkeutumaan käyttöohjeen mukaisesti 5 mA:n viestillä, eli 6 %:n säätöarvolla ja avautumaan mahdollisimman paljon säätöarvolla 100 %. Tällä pyrittiin varmistamaan venttiilin hyvä sulkeutuminen säätöarvossa 0 %.



Käsiventtiileistä palloventtiilien toimivuus sulkuventtiileinä osoittautui erittäin hyväksi. Myös niiden säädettävyyden osoittautui riittäväksi esimerkiksi kuumavesiakun käytössä. Muutamilla palloventtiileillä esiintyi vuotoja venttiilikarasta, esimerkiksi kuumavesiakun palloventtiilit jouduttiin uusimaan korkeampaa painetta ja lämpötilaa kestäväan malliin.

Käsi käyttöisillä neulaventtiileillä ongelmia aiheutti venttiilien taipumus jäädä vuotamaan, joten ne eivät oikein sovellu laboratoriokeittimen kaltaiseen laitteeseen sulkuventtiileiksi. Erityisesti kohteissa, joissa vuoto on vaikea havaita, ei neulaventtiiliä tulisi käyttää sulkuna. Tällaisissa kohteissa neulaventtiilit kannattaisi vaihtaa palloventtiileihin huollon yhteydessä. Neulaventtiileillä tulisi kiristys aina tehdä oikeaan momenttiin. Kuitenkin käytännössä niitä kiristetään hyvin tiukkaan, jolloin niiden rakenne voi vioittua.

### *5.2.2 Pumppujen tarkastus*

Uusille pumpuille tehtiin käyttöohjeiden mukaiset huoltotoimenpiteet. Mäntä- ja hammasrataspumppujen imupuolelle asennettiin suodattimet, jotteivät mahdolliset epäpuhtaudet riko pumppujen rakenteita. Pumppujen P-K2 ja P-CD käyttämät taajuusmuuntajat säädettiin ja pumppujen ja varolaitteiden toiminta ja kytkentä järjestelmään tarkastettiin. Eri pumppujen pumppausnopeuksia tarkasteltiin.

### *5.2.3 Paineastiatarkastukset*

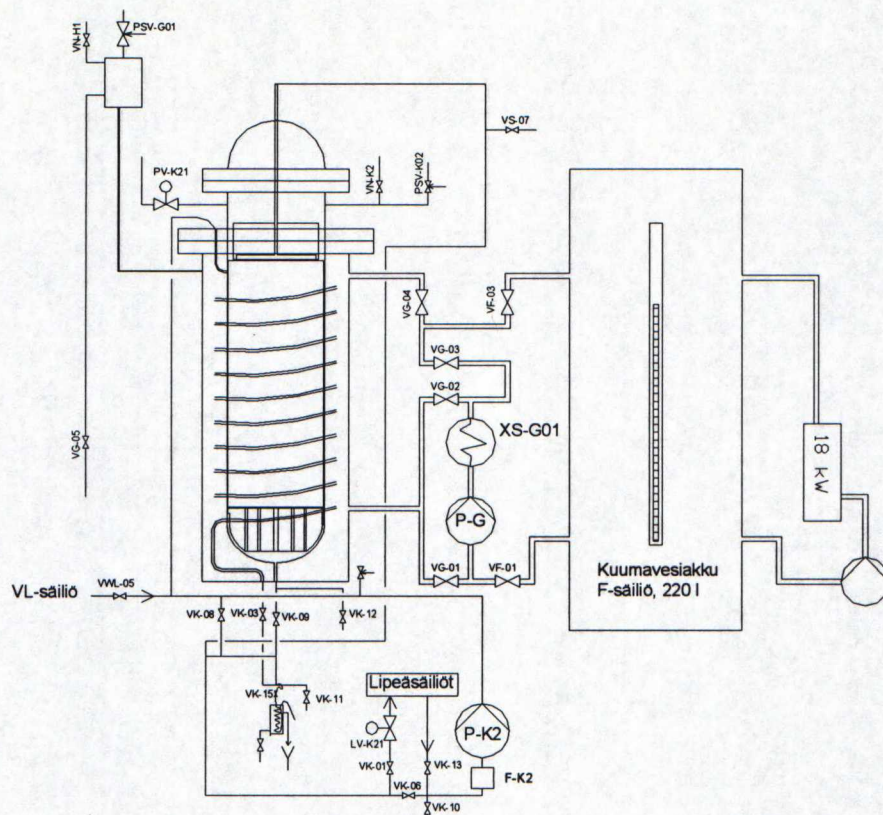
Tavanomaisten vesijohtoverkon paineella tehtyjen pitävyystarkastusten lisäksi keittämön uusille paineastioille tehtiin virallinen paineastiatarkastus. Paineastiatarkastuksessa tarkastettiin paineastioiden asiakirjat ja kilpimerkinnät sekä tarkistettiin tärkeimpien varolaitteiden (varoventtiilit, sähkölämmittimien ylikuumenemissuojat) olemassaolo ja toimivuus. Periaatteena on, että kaikissa suljettavissa nestettä sisältävissä tiloissa, joita lämmitetään tai jotka voivat kuumeta, on oltava oma varoventtiilinsä. Paineastiatarkastuksen yhteydessä keittämön kuumavesiakku liitettiin paineastiarekisteriin, jolloin kuumavesiakusta tehtiin paineastiakirja, mihin on liitetty myös muiden paineastioiden tiedot.

## **6 KEITTÄMÖN LAITTEET JA RAKENNE**

### **6.1 Syrjäytyskeittimen lipeäkierto ja lämmönsäätö**

Itse keitin on toimintaperiaatteelta vesivaipallinen syrjäytyskeitin (katso kappale 3.8). Keitin on siis sijoitettu lähes kokonaan vesivaipan sisään. Vaipan läpi kierrätettävän veden lämpötilaa säädetään höyrylämmönvaihtimella ja tarvittaessa kuumavesiakulla. Kuvassa 18 on esitetty TKK:n syrjäytyskeittimen ja sen vaipan lämmönsäätöjärjestelmän rakenne.





**Kuva 18.** TTK:n syrjäytyskeitin kiertolinjoinen ja keittimen lämmönsäätölinjat ja -laitteet.

Kuvassa 18 on esitetty vasemmalta lähtien seuraavat säiliöt: Keittimen vesivaipan paineentasaussäiliö, vesivaipallinen keitin ja kuumavesiaku. Keittimen ja kuumavesiakun välissä on vaippaveden kierrätysputkisto, johon kuuluvat käsiventtiilien lisäksi kierrätyspumppu PG-01 ja levylämmönsiirrin XE-F01. Akun oikealla puolella on akun lämmityslinja pumppuineen ja 18 kW sähkölämmittiminen. Akun keskellä on pinnanmittausputki, johon on kiinnitetty pinnanmittausanturit ja jossa kulkee pintaa mittaava magneettiuimuri.

Kuvaan 18 on myös harmaalla vesivaipan sisäpuoliset osat. Keitintä kiertää lämmönvaihtoputki, minkä sisätilavuus on noin 2 litraa (kuvan putken kierrosmäärä eroaa todellisesta). Itse keittimen pohja on puolipallon muotoinen, mutta koska hakekori on lieriömäinen, on pohjaan asennettu nestetilavuuden minimoimiseksi teflonpala (irrotettavissa pohjasta kierretangon avulla). Tämä alateflonpala ylettyy keittimen pohjapallopäädyn hitsisauman yläpuolelle. Hakekori lasketaan alateflonpalan päälle. Hakekorin ominaisuudet on esitetty taulukossa 4.

**Taulukko 4.** Keittimen hakekorin ominaisuuksia

Korin ja kannen materiaali ruostumaton teräs	SS
Ulkohalkaisija	200 mm
Korkeus	860 mm
Korin ja kannen yhteismassa	10,89 kg
Korin haketilavuus	25,1 dm <sup>3</sup>
Täyttömäärä (pakkausasteella 0,16 - 0,20)	4 - 5 kg



Kanteen kiinnitetty yläteflonpala laskeutuu välittömästi hakekorin yläpuolelle, kun kansi lasketaan alas. Teflonpalan erottaa höyry- ja kaasutilan toisistaan ja näin mahdollistaa keittimen pinnan säädön erittäin pienellä nestetilavuuden muutoksilla (yläteflonpalan ja keittimen reunan välinen vapaa tilavuus on noin 0,35 l). Kun lipeäkierro suunta on ylhäältä alas, johdetaan keittimeen tuotava lipeä keskiputken kautta teflonpalan alareunaan sorvattuun koloon, josta lipeävirta jakaantuu teflonpalan alareunaan kiinnitetyn lipeäjakolevyn välityksellä tasaisesti hakekorin päälle. Vastavasti kiertosuunnan ollessa alhaalta ylös, poistuva lipeä kulkee lipeäjakolevyn, yläteflonpalan ja keskiputken läpi keittimestä ulos.

Keittimen lämmönsäätö hoidetaan normaalisti vaippaveden lämpöä säätämällä. Kuten muissakin syrjäytyskeittimissä, myös tämän sovelluksen lämmön siirtoa hallitsee konvektio, eli lämpö siirtyy keittimeen lähinnä keittonesteen siirron välityksellä. Lipeäkierrätyksissä ja -syrjäytyksissä lipeät johdetaan yleensä ennen keittimeen menoaan keittimen vesivaipassa kiertävän lämmönvaihtokierukan läpi, missä lipeät lämpenevät tai jäähtyvät vaipan tehokkaan vesikierron takia lähes vaippaveden lämpötilaan. Vesivaipan takia myös keittimen seinämät ovat likimain vaippaveden lämpöisiä. Vesivaipan tehtävänä onkin tukea keittimen lämmönsäätöä, eli mahdollistaa lämmitykset sellaisilla suhteellisilla pumpatun keittonesteen määrillä, mitä tehdaskeitoissa käytetään. Toisaalta vesivaipan avulla on mahdollista pysäyttää keittonesteen kierto ilman keittimen lämpötilan nopeaa laskua.

Vaippavettä kierrätetään pumpulla P-G höyrylämmittimen läpi minkä jälkeen vesi ohjataan yleensä venttiilien VG-03 ja V-04 läpi vaipan yläosaan. Vaipasta vesi tulee takaisin pumpulle venttiiliin VG-01 kautta. Yleensä venttiiliä VG-02 pidetään kiinni, sen sijaan venttiileitä VF-01 ja VF-03 käytetään silloin, kun höyrylämmittimen teho ei riitä, esimerkiksi ns. potkussa.

#### *6.1.1 Lipeäkierto ja lämmönsäätö perinteisessä keitossa*

Perinteistä eräkeittoa simuloivalla perinteisellä laboratoriokeittomallilla lipeitä kierrätetään normaalisti lämmönvaihtokierukan kautta keittimen yläosaan. Lipeä tuodaan yläosassa kulkevan putken välityksellä teflonpalan alaosaan, mistä se kulkeutuu hakeiden läpi ja keittimen pohjasta jälleen venttiilien VK-14 ja VK-06 kautta kiertopumpulle P-K2.

Lämpötilan nostonopeudet ovat yleensä perinteisellä laboratoriokeittomallilla melko hitaat (1 - 2 °C/min), joten lipeälämmönvaihtimen XS-G01 lämmönsiirtokyky riittää lämmitykseen. Näin ollen kuumavesiakkua ei yleensä tarvita perinteisen eräkeiton jäljittelyyn. Jos maksimilämpötila on poikkeuksellisen korkea ja nostonopeus maksimilämpötilaan on suuri tai jos koehallin höyrynpainetaso on erityisen matala, voidaan noston onnistuminen varmistaa käyttämällä kuumavesiakkua höyrylämmittimen rinnalla.

#### *6.1.2 Lipeäkierto ja lämmönsäätö syrjäytyksissä*

Syrjäytyksissä lipeä imetään kiertopumpulle venttiiliin VK-13 kautta ja pumpataan normaalisti lämmönvaihtokierukan läpi joko keittimen ylä- tai alaosaan. Syrjäytynyt lipeä otetaan vastaavasti ala- tai yläosasta keitintä ja johdetaan käsiventtiiliin VK-01 kautta syrjäytysventtiilille LV-K21, mistä lipeä johdetaan edelleen liuossäiliöön tai lipeäjäähdytin kautta ulos keittämöstä.



Syrjäyttävän lipeän lämmönsäätö voidaan tehdä eri tavoilla. Lipeä voidaan lämmittää paineellisissa säiliöissä etukäteen ja pumpata tai johtaa paineen avulla suoraan keittimeen siten, ettei se kulje lämmönvaihtokierukan kautta. Tarkempaan tulevan lipeän lämpötilan säätöön päästään, jos lipeä esilämmitetään ja sen lämpötilan hienosäätö tapahtuu lämmönvaihtokierukassa. Yksinkertaisinta on kuitenkin pumpata kaikki lipeät kylmänä lämmönvaihtokierukkaan, jossa haluttu tulolämpötila säädetään vaipan lämpötilan säädöllä. Tämä on ainoa käytännöllinen mahdollisuus pumpattaessa lipeitä esimerkiksi paineettomasta valkolipeän annostelusäiliöstä.

Kuumavesiakkua voidaan tarvita höyrylämmittimen rinnalla kuumissa lipeäsyrjäytyksissä, etenkin jos sisään pumpattavat lipeät ovat kylmiä ja pumppausnopeus on suuri. Esimerkiksi syrjäytysnopeuden ollessa 2 l/min ja vaipassa tarvittavan lämpötilan noston ollessa 20 °C:sta 160 °C:een, on tarvittava lämmitysteho oltava noin 20 kW.

#### *6.1.3 Lämmönsäätö 'potkussa'*

Keittimen vaipan lämpötila voidaan haluta nostaa nopeasti esimerkiksi jäljiteltäessä keiton alkua vuokeitossa. Tällöin suoritetaan ns. potku, millä tarkoitetaan kuumavesiakkun avulla tehtävää vesivaipan hallittua ja nopeaa usean kymmenen asteen lämpötilannostoa. Potkussakin vaipan lämpötilan hienosäätö tehdään vaippaveden kierroksen höyrylämmittimen avulla, mutta tällöin suurin osa keittimeen tuodusta lämpöenergiamäärästä tulee kuumavesiakusta.

Potkussa höyrylämmittimen säädön tavoitearvo laitetaan potkulämpötilaksi ja kuumavesiakkun vettä otetaan vaippaveden kiertoon siten, että höyryventtiili VF-01 avataan kokonaan ja akusta vaippaveden kiertoon sekoittuvan nesteen määrää säädelään käsiventtiilin VF-03 asentoa säätämällä. Normaalisti VF-03:a pidetään potkun ajan sellaisessa asennossa, että höyrylämmittimen säädin pystyy pitämään vaippaveden lämpötilan tavoitearvossaan. Tämän varmistamiseksi on helpointa säätää VF-03:a siten, että höyrylämmittimen säätö pitää höyryventtiiliä 15 - 40 % auki.

Kuumavesiakkua voidaan käyttää höyrylämmittimen rinnalla 'potkun' lisäksi myös kohdan 6.1.1 ja 6.1.2 tapauksissa varmistamaan riittävä lämmön tulo keittimeen. Myös tällöin kuumavesiakkua käytetään kuin potkussa.

#### *6.1.4 Vaippanesteen kierto kuumavesiakkun kautta*

Vaippavesi voidaan kierrättää myös kokonaan kuumavesiakkun kautta siten, että vaippavesi johdetaan höyrylämmönvaihtimesta vaipan alaosaan ja vaipan yläosaan edelleen kuumavesiakkun kautta takaisin pumpulle P-G. Koko kiertävän vesimäärän ajo kuumavesiakkun kautta voidaan tehdä kahdesta eri syystä. Ensinnäkin tällä voidaan tehdä potku vielä kohdan 6.1.3 menettelytapaakin nopeammin. Toisaalta akun avulla voidaan myös keittää, vaikkei höyrylämmönvaihdistinta voitaisi jostain syystä käyttää (esim. höyrynpuutteen tai venttiilirikon takia).

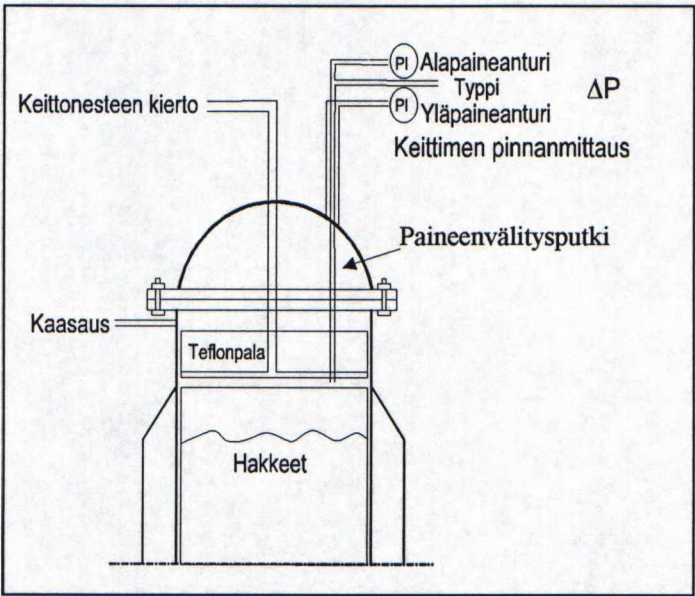
Keittimen lämmitys pelkästään kuumavesiakkun lämmönsäädön avulla on mahdollinen mm. perinteisellä laboratoriokeitolla, jossa ei tarvita suuria nostonopeuksia. Kuumavesiakkun lämpötilan nostonopeutta rajoittaa kiertävän nestemäärän ja akun lämmittävän sähkölämmittimen tehon (18 kW) suhde. Kuumavesiakkun lämpötilan nostonopeutta voidaan lisätä tavanomaisesta n. 1,2 °C/min vähentämällä akun nestemäärää normaalista 170 litrasta n. 80 litraan. Näin voidaan päästä noin 1,5 °C/min nostonopeuksiin keitossa.



## 6.2 Keittimen pinnanmittaus sekä pinnan- ja paineensäätö

### 6.2.1 Keittimen pinnankorkeuden mittaus

Keittimen pinnanmittaus perustuu useimpien muiden keittämön säiliöiden tapaan ylä- ja alapaineanturin käyttöön, eli mittauksella mitataan periaatteessa pinnankorkeuden sijasta paine-eroa. Keittimellä pinnanmittausalueen alaosan painetta mittaava anturi on kiinnitetty putkeen, jonka sisältämän ilman kautta putken alaosaan kohdistuva paine välittyy kannen yläpuolella olevalle varsinaiselle paineenmittausanturille. Paineenvälityspotken alareuna, eli pinnanmittausalueen alkamiskohta on hakekorin ja teflonpalan välissä. Yläpaineanturi on kiinnitetty putkeen, mikä ympäröi alapaineanturin paineenvälityspotkea. Yläpaineanturin putki lähtee keittimen kannen yläosasta, joten paine yläpaineanturissa on keittimen kannen yläosan paine. Ylä- ja alapaineanturista paineet välitetään edelleen öljyn avulla paine-eroanturille, mikä vertailee paine-eroa ja muuttaa sen 4-20 mA:n virtaviestiksi. Kuvassa 19 on esitetty keittimen pinnankorkeusmittauksen periaate.



Kuva 19. Keittimen pinnankorkeuden mittaus

Paine-eroanturin lähettämä virtaviesti on skaalattu järjestelmässä veden avulla siten, että pinta on 0 %, kun veden pinta on paineenvälityspotken alareunan kohdalla tai sitä alempana ja 100 %, kun veden pinta on kaasauslinjan alareunan kohdalla. Jos veden pinta on korkeammalla kuin kaasauslinjan alareuna, niin pinnan mittaus näyttää yli 100 %. Taulukossa 4 on esitetty eri prosenttiarvoja vastaavat kohdat ja pinnanmittausalueen alarajan yläpuoliset tilavuudet, sekä tilavuuden muutos, mikä vastaa yhtä pinnanmittauksen prosenttiarvon muutosta.

Taulukko 4. Keittimen pinnanmittauksen tarkistusmittaus vedellä

Alue keittimen yläosassa	Mittausväli	Tilavuus	Tilavuus/mittaus
Kaasauslinjan alaosan yläpuolinen tila	>100 %	7,65 l	43,6 ml/%
Kaasauslinjan alaosa - Teflonpalan yläosa	76 % - 100 %	1,05 l	43,6 ml/%
Teflonpala	6 % - 76 %	0,19 l	2,7 ml/%
Teflonpalan alaosa	0 % - 6%	0,15 l	25 ml/%

Paine-eroon perustuva pinnanmittauslukema on periaatteessa suoraan verrannollinen alapaineanturin yläpuoliseen pinnan korkeuteen ja mitattavan nesteen tiheyteen.



Nesteen tiheyteen vaikuttaa koostumuksen lisäksi lämpötila, joten tarkan pinnankorkeusarvon saamiseksi tulisi huomioida mitattavan nesteen koostumus ja lämpötila. Kuitenkin jos pinnankorkeus pystytään pitämään teflonpalan alueella, ei suuretkaan pinnanmittauksen prosenttiarvon muutokset vaikuta juurikaan keittimen kokonaistilavuuteen.

Jos paineenvälityspotki on täyttynyt nesteellä ei pinnanmittaus voi toimia kunnolla, koska tällöin paineenvälityspotken neste alentaa alapaineanturissa olevaa painetta. Paineenvälityspotkeen voi kertyä nestettä, jos paine nousee keittimessä tai esimerkiksi höyryn tiivistyessä putken sisään. Neste voidaan poistaa päästämällä paineenvälityspotkeen korkeapaineista tyypeä, tällöin tosin myös keittimen paine nousee hieman (0,01 - 0,05 baaria). Päästettäessä paineenvälityspotkeen tyypeä näyttää pinnanmittaus hetkellisesti väärin, tällöinhän alapaineanturin paine on todellista mittausalueen alaosan painetta huomattavasti korkeampi.

#### *6.2.2 Keittimen pinnankorkeuden merkitys keiton suoritukseen*

Keittimen pinnankorkeuden arvolla on seuraavia merkityksiä keittosuoritukseen:

- Jos pinta on pinnanmittausalueen yläpuolella, ei keitintä voida kaasata. Tällöin kaasauksessa lähtisi lähinnä vain keittonestettä.
- Jos pinta on reilusti teflonpalan yläpuolella, on tämän yläpuolisen osan osallistuminen keittokiertoon ja syrjäytyksiin hieman epävarmaa. Toisaalta keittimen reunan ja keskiosien lämpötilaerot pitävät luultavasti nestettä sen verran liikkeessä, että teflonpalan yläpuolellakin olevat nesteet kulkeutuvat pienellä viiveellä keittokiertoon.
- Pinnan ollessa pinnanmittausalueen alarajaa korkeammalla voidaan lipeää kierättää tai syrjäyttää alhaalta ylös poistamalla lipeää keittimen yläosasta.
- Pinnan ollessa pinnanmittausalueella tai jonkin verran sen yläpuolella (näytössä näkyy prosenttilukemat 120:een asti), voidaan keittimen pinnanmuutoksia tarkkailla.
- Pinnan ollessa hakkeiden alapuolella kasvaa epähomogeenisen keiton riski.

#### *6.2.3 Nestepinnan korkeuteen vaikuttavat tekijät vakionestemäärillä*

Nestepinnan korkeuteen keittimessä vaikuttavat nesteen määrä, hakkeiden puuaineksen tilavuus ja ilman määrä (tilavuutena) hakkeissa. Nesteen määrään vaikuttaa hakemäärän ja käytetyn nestepuusuhteen lisäksi nesteen lämpötila, sillä keittoliuos laajenee veden tavoin lämpötilan noustessa.

Hakkeen puuaineksen tilavuus lieenee melko suoraan riippuvainen puulajista ja hakemäärästä, sen sijaan hakkeissa olevan ilman määrään vaikuttaa merkittävästi mm. hakkeiden höyrytys ja se, että käytetäänkö kuivia hakkeita, kuivattuja ja uudelleen kostutettuja hakkeita vai esimerkiksi tuoreita hakkeita. Ilmamäärä on vähäisin hyvin höyrytetyillä tuoreilla tai uudelleen kostutetuilla hakkeilla ja korkein kuivilla höyryttämättömillä hakkeilla. Myös keittimen hydraulinen paine, eli kokonaispaine vähennettynä vesihöyrynpaineella, vaikuttaa suoraan ilman puristumiseen hakepaloissa ja näin ilman tilavuuteen hakkeissa.



#### *6.2.4 Keittimen nestepinnan säätö syrjäytyksissä*

Nestepinnan korkeudella on syrjäytyksissä yleensä vakiona pysyvä tavoitearvo. Nestepinnan korkeutta voidaan joutua säätämään esimerkiksi syrjäytyksissä, joissa tulevan liuoksen määrä ja pumppausnopeus on vakio ja keittimen paine pidetään vakiona syrjäytysventtiilin asentoa muuttamalla. Ennen pinnansäätöä on hyvä tarkistaa pinnanmittauksen toimivuus kohdassa 6.2.1 esitetyllä tavalla.

Jos syrjäytykset suoritetaan alhaalta ylös, voidaan nestepinta pitää likimain vakiona teflonpalan alareunan tuntumassa, jolloin poistuvan lipeän joukkoon tulee ajoittain keittimen kaasutilan kaasuja. Tällä menettelytavalla keitin siis kaasautuu syrjäytyksissä jonkin verran. Jos kaasuja ei haluta päästää ulos keittimestä tai jos syrjäytetään ylhäältä alaspäin, vakiodaan parhaiten keittimen nestetilavuus pitämällä nestepinta pinnanmittausalueella ja vakiona. Pinta pysyy syrjäytyksissä vakiona, jos keittimen paine on vakio ja keittimen yläpuolisen kaasun määrä ja lämpötila pysyy vakiona. Kaasun määrään vaikuttaa merkittävästi veden höyrynpaine. Nesteen lämpötilan noustessa höyrynpaine kasvaa, jolloin kaasutilaan tulee lisää vesihöyryä ja pinta laskee.

Pinta siis säätyy ja sitä voidaan säätää, kun vakiopaineisessa syrjäytyksessä muutetaan keittimen yläosan kaasutilavuutta joko kaasauksen tai tyypillisäyksen avulla. Keitintä kaasaamalla pinta nousee ja tyypeä lisättäessä pinta laskee. Edellytyksenä pinnansäädölle syrjäytyksissä on, että syrjäytyspaineen pitää olla suurempi kuin keittonesteen höyrynpaine, jos se ei sitä ole, niin keittoneste kiehuu nesteen ulosotossa ja pinta on korkeimmillaan ulosoton korkeudella.

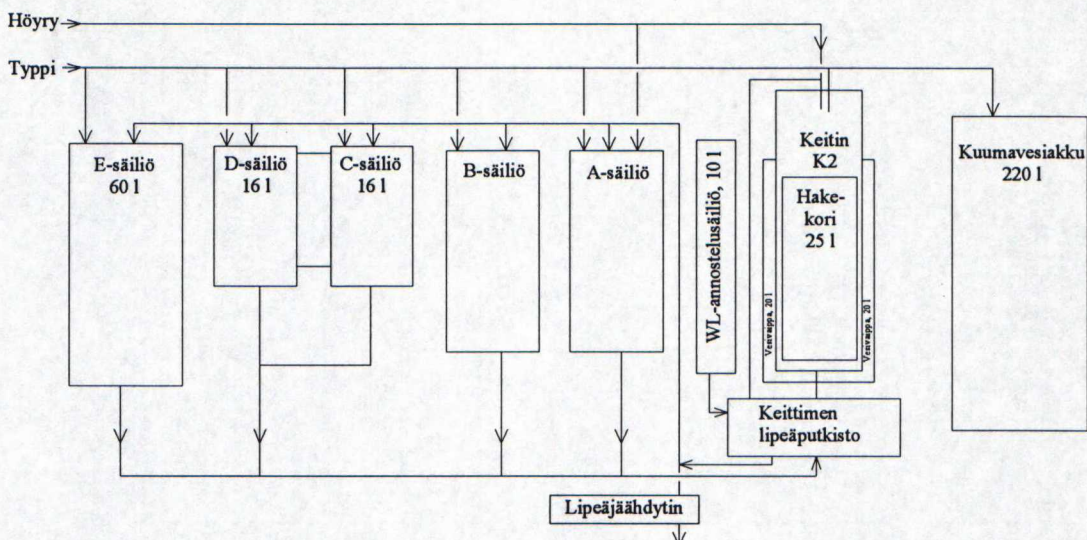
#### *6.2.5 Keittimen paineen säätö*

Keittimen paine säädetään normaalisti kaasaamalla keitintä tai lisäämällä tyypeä keittimeen. Tällöin keittimen pinnankorkeus muuttuu usein kohdassa 6.2.3 esitetyllä tavalla. Syrjäytyksissä keittimen paine säädetään periaatteessa syrjäytysventtiilin avulla. Kuumat syrjäytykset tehdään yleensä korkeammissa paineissa kuin niitä edeltävät imeytykset. Paineensäätöä ei voida tehdä syrjäytyksen alussa pelkästään syrjäytysventtiilin avulla, koska muuten keittimen yläosan kaasutilan ilma (noin 8 litraa) puristuisi kasaan ja pinta muuttuisi merkittävästi keittimessä. Tämän takia syrjäytysvaiheen alun paineennostoihin voidaan lisätä tyypeä. Tyypillisäyksessä kannattaa kuitenkin huomioida kuumissa syrjäytyksissä höyrynpaineen nousu syrjäytyksessä, eli syrjäyttävän nesteen voi antaa puristaa syrjäytyksen alussa keittimen yläosan kaasutilaa hieman kasaan, koska syrjäytyksen loppuvaiheessa kaasutilaan tuleva vesihöyry työntää nestepintaa jälleen alemmaksi.

### **6.3 Keittämön linjat ja säiliöt**

Kuvassa 20 on esitetty keittämön periaatteellinen rakenne lähinnä lipeäsäiliöiden ja niiden ja keittämön välisten linjojen osalta. Liitteen 1 virtauskaaviossa ovat linjat ja säiliöt esitetty kuvaa 20 yksityiskohtaisemmin. Kuten kuvasta 20 näkyy, kaikista paineellisista lipeäsäiliöistä on yhteys keittimen tulo- ja poistovenktiiliin. Lisäksi kaikista paineellisista säiliöistä on yhteydet typpi- ja kaasauslinjaan. Virtauskaavion A- ja B-säiliöt sekä niiden lämmityskierto- ja poistolinjat ovat poistettu keittämöstä ja ne ovat tarkoitus uusia lähiaikoina suuremmilla, mahdollisesti lämmittämättömillä säiliöillä.





**Kuva 20.** Keittämön periaatteellinen rakenne, kemikaalilinjat, lipeäsäiliöt, keitin ja akku.

Keittämön kemikaalilinjat perustuvat lähes kokonaan ulkohalkaisijaltaan 12 mm haponkestävästä teräksestä tehtyihin putkiin ja liitoksiin laadukkailla Svagelockin puristusliittimillä. Tällä on pyritty varmistamaan keittämön helppo muunneltavuus. Kaasauslinjoissa ja keskipakopumppeihin liittyvissä lämmityslinjoissa on käytetty suurempia putkikokoja. Kuumavesiakun lämmityslinja ja keittimen vaippaveden kiertäyslinja on tehokkaan virtauksen varmistamiseksi putkihalkaisijaltaan 32 mm. Vaippavesilinjan liitokset ovat tehty hitsaamalla.

#### 6.4 Keittämön pumput ja pumpausnopeudet

Keittämöllä on käytössä viisi eri tavalla käytettävää lipeäpumpppua ja kaksi identtistä keskipakopumpppua vaippaveden kiertoa ja lämmitystä varten. Taulukkoon 5 on koottu keittämöllä käytetyt pumput toimittajineen.

**Taulukko 5.** Syrjäytyskeittämöllä käytetyt pumput

Pumppu	Kohde	Toimintatapa	Merkki & malli	Toimittaja
P-WL	Valkolipeäsäiliö	Mäntäpumppu	Pulsar, 25 H	
P-K2 *	Keittimen liuoskierto	Taajuusmuuntajamäntäpumppu	LEWA EL-K-110V1	Johnson Pump Oy
P-CD *	CD-säiliöt	Taajuusmuuntajatoim. hammasrataspmp. magneettikytkimellä	Liquiflo H5FX6PEE300 00MCB-8	YTM-Industrial
P-E	E-säiliö	Magn.vetoinen keskipakopumppu	HMD, GT 15	YTM-Industrial
P-F	Kuumavesiakun lämmityskierto	Keskipakopumppu	Sihi	ABS pumput Oy
P-G	Keittimen vaipan lämmityskierto	Keskipakopumppu	Sihi	ABS pumput Oy
P-AB**	AB-säiliöt	Keskipakopumppu		
	Siirrettävä liuos-pumppu	Paineilmatoiminen kalvopumppu	Wilden P 025	

\*Kummassakin käytetään ABB:n taajuusmuuttajaa, malli ACS 300

\*\*Poistettu säiliöiden mukana keittämöstä



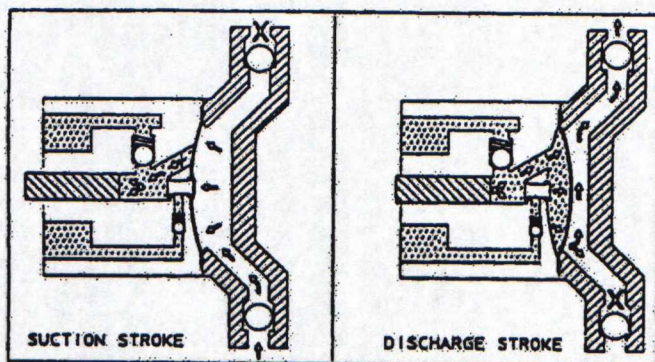
Pumppujen pumppausnopeuksista kiinnostavimmat ovat mäntäpumppujen pumppausnopeudet, sillä niitä voidaan käyttää kemikaalien annostukseen. Ne tarkistettiin pumppaamalla kylmää vettä täysinäiseen keittimeen ja mittaamalla syrjäytysventtiilin kautta syrjäytyneen veden määrä tarkalla vaa'alla. Tällä menetelmällä saatiin näky-mään eri vastapaineiden ja putkiston vaikutus. Valkolipeäpumppun pumppausnopeu-den arvioinnissa käytettiin hyväksi myös valkolipeän annostelusäiliötä. Pumpun CD pumppausnopeutta tarkasteltiin nostokorkeuden suhteen, muilla pumpuilla pump-paustehoja arvioitiin vain riittävyydellä pumppujen käyttökohteissa.

#### 6.4.1 Mäntäpumput P-K2 ja P-WL

##### 6.4.1.1 Mäntäpumppujen toimintaperiaate

Keittämön mäntäpumput ovat yksisylinterisiä. Sylinterissä liikkuva mäntä siirtää pumpattavaa nestettä tai väliaineena toimivaa hydraulinestettä syrjäytysperiaatteella. Pumppuun imu- ja painepuolelle liitetyt takaiskuventtiilit päästävät nestettä vain pumppaussuuntaan, mikä varsinaisesti mahdollistaa pumppauksen. Lipeän kierto-pumpulla P-K2 pumppausnopeutta säädetään muuttamalla iskunpituutta välillä 0 - 20 mm ja taajuusmuuntajan säätöarvoa välillä 20 - 100 %. 20 % alempien taajuuksi-en käyttö on estetty ylikuumenemisriskin takia. Valkolipeäpumppu toimii vakiotaa-juudella; siinä pumppausnopeutta voidaan säätää vaihtelemalla iskunpituutta säätö-arvoilla 0 - 100 %. Iskunpituuden ja pumppaustaajuuden muutokset ovat mahdollisia myös pumppauksen aikana.

Kuvassa 21 on esitetty mäntäpumppun (P-WL) toimintaperiaate. Männän syrjäyttävä liike siirtyy pumpussa P-WL hydraulikkaöljyn välityksellä joustavalle kalvolle, min-kä liike varsinaisesti pumpkaa keittonestettä.



Kuva 21. Pumpun P-WL toimintaperiaate. /43/

Mäntäpumput tarvitsevat aina varoventtiilin yhteyteensä. Ilman varoventtiiliä paine voi nousta suljettuja venttiileitä vasten pumpattaessa niin suureksi, että putkistoon liitetyt laitteet tai putkiston laippaliitokset todennäköisesti vioittuvat. Valkoli-peäpumppun sisäiseen rakenteeseen kuuluu hydraulikkaöljyn paineen laukaisema varo-venttiili (kuva 21). Kiertolipeäpumppuun ei kuulu varoventtiiliä, minkä takia kierto-linjaan, pumpun painepuolelle on asennettu varoventtiili.

##### 6.4.1.2 Paineen nousu putkistossa pumppausvaiheessa

Sykäyksittäin toimivassa mäntäpumppussa pumpattava neste kiihtyy lyhyessä ajassa yli kolminkertaiseen virtausnopeuteen nimelliseen virtausnopeuteensa nähden. Käy-



tetyllä putkikoolla (12 mm ulkohalkaisija) tasaista virtausnopeutta 5 l/min vastaa likimain nopeus 1 m/s. Ilman minkäänlaista pumppausnopeuden tasaajaa pitäisi nesteen kiihtyä siten pumppausvaiheessa yli 3 m/s nopeuteen. Koska kiihdytysaika on lyhyt, sekunnin murto-osa, ja koska kiertolinjan pituus lämmönvaihtokierukkoineen on noin 20 metriä, voi paine nousta esimerkiksi 5 l/min virtausnopeudella niin suureksi, että linjaan asennettu 30 baarin varoventtiili aukeaa huomattavasti keittimen painetta korkeammasta nimellispaineestaan huolimatta. Tämän ongelman ratkaisemiseksi mäntäpumppujen painepuolelle kiertolinjaan on asennettu putkimainen, aluksi täynnä kaasua oleva, n. 30 ml:n paineentasaustila, minkä tehtävänä on tasoittaa painesykäyksiä ja näin tasoittaa pumpun painepuolen painevaihteluita.

#### 6.4.1.3 Mäntäpumppujen pumppausnopeudet

Mäntäpumppujen pumppausnopeuteen vaikuttavat tai voivat vaikuttaa seuraavat asiat: iskun pituus, pumppaustaajuus, eli invertterisäädön arvo (pumppulla P-K2, välillä 20 – 100 %), pumpun imu- ja painepuolen paine sekä pumpattavan nesteen ominaisuudet, kuten tiheys, höyrynpaine ja viskositeetti. Pumpun imu- ja painepuolen paineeseen vaikuttavat imu- ja painepuolen säiliöiden paineiden lisäksi putkiston rakenne ja tila pumpun imu- ja painepuolella (esimerkiksi painepuolen paineentasaajan toiminta tai imupuolen suodattimen tukkoisuus). Mäntäpumpuilla käytetyn iskunpituuden ja pumppaustaajuuden muutokset muuttavat pumppausnopeutta lineaarisesti, jos imu- ja painepuolen paineet ovat riittävän suuret, esimerkiksi 5 baaria. Virtausnopeuden lineaarista riippuvuutta säätöarvoista voidaan kuvata seuraavilla kaavoilla:

$$V_{WL} = K_{WL} * (L_{WL} - L_0) / 100 \%, \quad (1)$$

$$V_{K2} = K_{K2} * L_{K2} / \text{mm} * F_{K2} / 100 \%, \quad (2)$$

missä  $V_{WL}$  ja  $V_{K2}$  ovat pumppausnopeudet pumpuilla WL ja K2,  $[V_{WL}] = \text{l/min}$   
 $K_{WL}$  ja  $K_{K2}$  ovat pumppuvakioita,  $[K_{WL}]$  ja  $[K_{K2}] = \text{l/min}$   
 $L_{WL}$  ja  $L_{K2}$  ovat säädetyt iskunpituudet,  $L_{WL}$  on 0 - 100 %,  $L_{K2}$  on 0 - 20 mm  
 $L_0$  on WL-pumpulta säädetty iskunpituus, kun todellinen iskunpituus on 0 %  
 $F_{K2}$  on P-K2 taajuusmuuntajan säätöarvo, 0 - 100 %

Pumppujen P-WL ja P-K2 pumppausnopeuksista on tehty alustava mittaus keittämön käyttöönoton yhteydessä 1999. Mittaustulokset on esitetty taulukkona liitteessä 2. Keittimen paineen ollessa 5 baaria saatiin seuraavat virtausnopeuksien yhtälöt:

$$V_{WL} = 1,15 \text{ l/min} * (L_{WL} - 5,5 \%) / 100 \%, \quad (3)$$

$$V_{K2} = 0,3654 \text{ l/min} * L_{K2} / \text{mm} * F_{K2} / 100 \%, \quad (4)$$

Yhtälöiden mukaan maksimipumppausnopeudet painetta vastaan olisivat P-WL:llä 1,09 l/min ja P-K2:lla 7,3 l/min. P-K2:n maksimipumppausnopeutta voi rajoittaa edellä mainittu varoventtiilin avautuminen korkeilla vastapaineilla.

Pienillä vastapaineilla virtausnopeudet eivät ole kuitenkaan suoraan verrannollisia pumppausnopeuteen tai iskunpituuksiin, vaan virtausnopeus on samoilla pumppausnopeuksilla ja iskunpituuksilla suurten vastapaineiden pumppausta suurempi. Toisaalta pumppausnopeus voi olla myös laskennallista alhaisempi, jos imupuolella oleva neste kiehuu imuvaiheen aikana (pumppu kavitoi) pumpattavan nesteen korkean höyrynpaineen tai imupuolen säiliön alhaisen paineen takia.

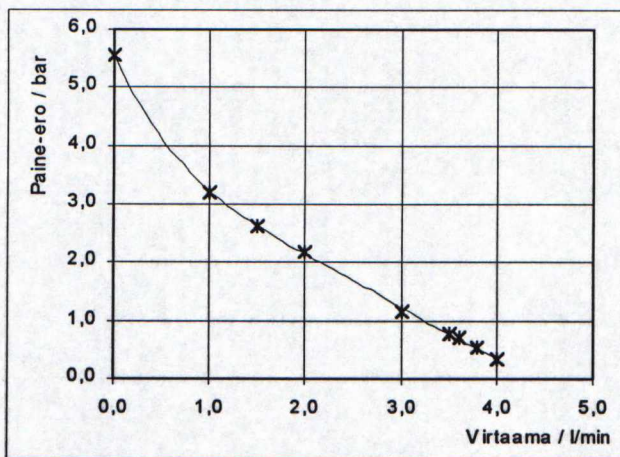


Pumppujen epälineaarinen toiminta pienillä vastapaineilla voidaan selittää seuraavasti: Jos imupuolen paine on korkeampi kuin painepuolen paine, niin pumppausnopeus on suurempi kuin laskennallinen nopeus. Tällainen tilanne voi tapahtua vaikka imupuolen säiliön paine olisikin alempi kuin painepuolen säiliön paine: Mäntäpumpun pumppaus on sykäyksellistä ja pumpun liikkeelle saamalla nesteellä on oma liikemääränsä, joten pumppausvaiheen lopulla neste ei välttämättä pysähdykään välittömästi, vaan virtauksen hidastuessa pumpun painepuolen paine voi laskea jopa imupuolen painetta alemmaksi, jolloin pumpun läpi virtaa laskennallista enemmän nestettä. Mäntäpumppujen venttiilithän mahdollistavat vapaan virtauksen aina silloin, kun painepuolen paine on imupuolen painetta alempi. Näin ollen virtaus voi tulla nimellistä virtausta suuremmaksi.

#### 6.4.2 P-CD

P-CD on C- ja D-säiliöihin liitetty magneettivetoinen hammasrataspumppu. Pumpulla on tehty testiajo keittämön käyttöönoton yhteydessä, jonka tulokset on esitetty liitteessä 3. Testiajossa tutkittiin, voidaanko tätä syrjäytysperiaatteella toimivaa pumppua käyttää mäntäpumppujen tapaan lipeän annosteluun suoraan keittimeen.

Pumpun korkean lämpötilankestovaatimuksen takia pumpun pesään on tehty lämpölaajenemisen salliva väljyyttä tuova erikoishionta. Tämän hionnan takia pumppausteho on alempi mitä käyttöohjeessa on esitetty. Käytännössä pumppausnopeus on keskipakopumppujen tavoin selvästi riippuvainen nostokorkeudesta. Kuvassa 22 on esitetty virtaama-nostokorkeuskäyrä, missä nostokorkeutena pidetään imu- ja painepuolen säiliöiden paine-eroa.



Kuva 22. P-CD:n paine-eron ja virtaaman keskinäinen riippuvuus. Ohjaus 100 %.

Koska virtaama riippuu niin voimakkaasti paine-erosta ja koska maksimipaine-ero on alle 6 baaria, on pumpun ainoa järkevä käyttötapa säiliön nesteiden sekoitus lämmityksissä ja pitkän seisotuksen jälkeen. Koska virtausta voidaan säätää painehäviötä lisäämällä, voitaisiin pumppua kenties käyttää aina vakiotaaajuudella ja taajuusmuuntaja hyödyntää jossain toisessa kohteessa, kuten valkoliipeäpumpun käytössä.



### 6.4.3 Keskipakopumput

#### 6.4.3.1 E-säiliön sekoituspumppu P-E

E-säiliön sekoituspumppu HMD osoittautui testattaessa ennen kaikkea käyntiääneltään erittäin hiljaiseksi. Hiljainen käyntiääni perustuu magneetin käyttöön moottorin ja pumpun pesän roottorin välisessä voimansiirrossa. Pumpun teho osoittautui lämmityskierron ja sekoituksen kannalta riittävän suureksi. Koska lipeäkierron nopeutta ei voida mitenkään säätää, voi pumpun tehokkuus voi olla sekoituksen kannalta jopa ongelma, jos vaahtoa muodostuu paljon sekoituksessa. Tällöinhän esimerkiksi mustalipeä ei ole täysin homogeenisesti säiliössä. Pumpun käyttö on sidottu käyttöjärjestelmässä E-säiliön liuospintaan; lukitus on voimassa, jos pinta on liian alhaalla (kuivakäyntisuojaus) tai korkealla (turvallisuus).

#### 6.4.3.2 Vaippaveden ja akun lämmityksen kiertopumput.

Nämä SIHI-pumput ovat perinteisiä tehokkaita keskipakopumppuja. Pumput P-G ja P-F ovat keskenään identtisiä. P-E:n tavoin näillä pumpuilla ei ole virtausnopeuden säätöä, mikä näissä käyttökohteissa ei tosin ole mikään ongelma. Pumput ovat asennettu alustalle, mikä taas on kiinnitetty pulteilla suoraan kiinni lattiaan. Tällaisen kiinnitystavan haittana on alustan lievä taipuminen, minkä kuulee lähinnä pumpun käyttöäänestä, ja pumpun äänen kantautuminen lattiarakenteita pitkin. Erityisesti pumppua P-G käytetään koko keiton ajan, joten voimakas ääni vähentää pitkissä keitoissa työskentelymukavuutta keittämöllä.

Käytännössä pumput ovat osoittautuneet teholtaan riittäviksi, ainakin lämmönsiirto vesivaipan lämmönvaihtoputkessa on erittäin hyvä. Mitään vuotoja ei pumpuista ole havaittu korkeitakaan lämpötiloja käytettäessä.

#### 6.4.4 Paineilmatoiminen kemikaalipumppu

Paineilmatoimista kemikaalipumppua tarvitaan lähinnä nesteiden pumppaukseen liuossäiliöihin. Pumppua voidaan käyttää myös suurempien nestemäärien siirtoon, vaikkakin valittu malli P-025 on pienin Wildenin paineilmatoimisista pumpuista. Pumppu on käytettävyyden kannalta jopa liian kevyt, minkä takia se on vakauden lisäämiseksi asennettu puualustalle. Se ei sovellu kiinteitä aineita sisältävien nesteiden pumppaukseen, mutta esimerkiksi kolloidisia aineita sisältävän mustalipeän pumppaus sujuu hyvin. Pumpun teho on osoittautunut riittäväksi keittämön normaaleissa käyttökohteissa.

Pumpun käytössä avataan paineilman syöttö paineilmaletkuun ja itse pumppaus aloitetaan avaamalla pumppuun liitetty liukutoiminen paineilman venttiili. Pumppu on rakenteeltaan siis melko kevyt ja venttiili taas hieman jäykkä, joten tätä tapaa paremmin voisi toimia palloventtiili, minkä etuna olisi myös paineilman syötön kätevä säätömahdollisuus. Käyttöohjeen mukainen suurin sallittu paineilman paine on 7 baaria. Tulopainetta voidaan muuttaa seinässä olevasta paineenalennusventtiilistä myös alemmaksi, mikä toisaalta laskee hieman pumpun tehoa, mutta toisaalta alentaa myös pumpusta aiheutuvaa melua.

Paineilmatoimisella pumpulla saavutettava maksimipaine on korkeintaan sama kuin paineilman paine. Pumpun ainoa liukuva osa on paineilmaventtiili, joka ohjaa paineilman vuorotellen pumpun kahteen eri pesään. Pesät koostuvat kahdesta eri tilasta, liuos- ja kaasutilasta. Näitä tiloja erottaa joustava kalvo. Kun paineilmaa ohjataan



pesän kaasutilaan, liikkuu liuos- ja kaasupuolen erottava kalvo, jolloin myös liuostilan paine nousee ja liuosta pumppautuu ulos pesästä. Samanaikaisesti toinen pesistä on imuvaiheessa, eli se täyttyy uudella liuoksella. Kahden pesän paineilmapumppu toimii näin tasaisemmin kuin mäntäpumput.

## **7 KEITTÄMÖN OHJAUSJÄRJESTELMÄ JA MITTAUKSET**

Keittämöllä käytettävään Honeywellin Measurex-ohjausjärjestelmään on koottu kaikki keittämön sähköiset mittaus- ja ohjauslaitteet. Ohjausjärjestelmän käyttöliittymänä toimii Alcont GUS.

### **7.1 Keittämön eri laitteiden liityntä säätöjärjestelmään**

Säätöjärjestelmän ydin on prosessiasema, mistä lähtee keittämölle pain 4 - 20 mA:n heikkojännitteistä virtaviestiä venttiilien ja taajuusmuuttajien ohjauksiin sekä binääri- viestejä (230 V jännite) pumppujen, lämmittimien ja taajuusmuuttajien käynnistykseen tai ohjaukseen. Prosessiasema saa vastaavasti mittaustiedot 4 - 20 mA:n virtaviesteinä, esimerkiksi lämpötilan mittauksessa keittimellä on muuntimet, jotka muuntavat Pt100-tyyppisten antureiden antaman vastuksen virtaviestiksi. Lisäksi järjestelmä saa 230 voltin binääri- viesteinä tiedot esimerkiksi turvakytinten ja häätäis-kytkimen asennoista sekä taajuusmuuntajien tilasta.

Tiedot välittyvät prosessiasemaan ja prosessiasemasta siihen liitettyjen sisään- ja ulostulokorttien (I/O-kortit) avulla. Prosessiasemaan liitetty yksittäiset kortit välittävät vain yhtä viestityyppiä, esimerkiksi ulostulojännitettä 0 V/ 230 V. Prosessiasema liitöntäkkortteineen sijaitsee keittämön yhteydessä olevassa "Honeywellin kaapissa". I/O-korttien avulla keittimeltä tulevat analogiset viestit (esim. milliampeeriviesti tai jännite) muutetaan digitaalimuotoon (Input) ja prosessorilta kentälle lähtevät digitaaliviestit muutetaan analogiseen muotoon (Output). Prosessiasemaan on lisäksi kytketty säätöjärjestelmän sisäisen verkon avulla sovellusasema, käyttöliittymä ja hälytyskirjoitin.

Sovellusasema on olemassa säätöjärjestelmän ohjelmointia ja käyttöönottoa varten, tässä TKK:n systeemissä se toimii lisäksi PC-pohjaisena tiedontallennusasemana. Säätöjärjestelmän ohjelmointi tehdään sovellusaseman Total Plant selainohjelman avulla. Selainohjelman lohkoeditorilla tehdään säätölogiikka ja näyttöeditorilla käyttöliittymän näyttö- ja muut kuvat.

Käyttöliittymä on keittämön suurinäyttöinen tietokone (GUS-asema), jolla ohjataan kaikkia uuden keittämön laitteita ja jolle tehtyihin näyttökuviin tulee prosessista saatava mittaustieto. Hälytyskirjoittimelle tulee tavanomaisten summerihälytysten lisäksi muita tietoja, kuten tiedot turvakytinten päälläolosta, jne.

### **7.2 Säätöjärjestelmän ohjelmointi ja testaus**

Säätöjärjestelmän ohjelmointi tehtiin pääosin Honeywellin toimesta. Diplomityön yhteydessä muokattiin säätö- ja mittauslogiikkaa vastaamaan keittämön tarpeita. Muun muassa säiliöiden pinnanmittausten toteutuslogiikka tehtiin sellaiseksi, että paine-eroon perustuva pinnanmittaus pystyy antamaan melko tarkat litra-arvot, kun mitattavien nesteiden tiheysvaihtelut ja mitattavan säiliön todelliset muodot huomioidaan.



Ohjelmien testaamiseksi sovellusaseman lohkoeditori sisältää simulointi- ja monitorointimahdollisuuden. Simulointitilassa mittaustieto ei ole kytketty testattavaan ohjelmalohkoon. Simulointitilassa voidaan testata prosessiin lataamatonta säätölohkoa antamalla sille haluttuja tulosuureita. Simulointitilan etuna on se, ettei mahdolliset ohjelmointivirheet aiheuta hankaluuksia itse prosessin toimintaan. Monitorointitilassa taas prosessiasemalle ladattu säätölohko toimii jo itse prosessin osana. Monitorointitilassa pystytään tarkkailemaan lohkojen sisäisten muuttujien käyttäytymistä säätötilanteessa. Lisäksi siinä pystytään halutessa irrottamaan tietty mittaustulos prosessista ja antamaan sille vapaasti omia arvoja. Monitorointitilassa tehdyt muutokset vaikuttavat prosessin toimintaan, joten monitorointitilan avulla voidaan tarvittaessa ohittaa esimerkiksi venttiililukituksia.

#### *7.2.1 Lohkoeditori ja lohkohierarkia*

Koko säätöjärjestelmän logiikan ohjelmointi tehdään siis sovellusaseman Total Plant selaimesta avattavalla lohkoeditorilla. Lohkoeditori on periaatteessa logiikkaohjelmointiin käytettävä graafinen käyttöliittymä. Lohkoeditorilla on muodostettu yksiselitteinen lohkohierarkia, mikä sisältää ylimmän tason hakemistotyyppiset lohkot, tiedonsiirtotason positiolohkot ja positiolohkojen mahdolliset alilohkot sekä mahdolliset alilohkojen alilohkot. Keittämön säätöjärjestelmän hierarkisten lohkojen listaus selitteineen on kuvattu liitteessä 4.

#### *7.2.2 Positiolohkon rakenne ja ohjelmointi*

Positiolohkot koostuvat joukosta lohkoja, jotka voivat olla mm. peruslohkoja tai alilohkoja. Peruslohkot ovat järjestelmään esiohjelmoituja käskyjä, niitä ei voi enää pilkkoa alilohkoiksi. Alilohkot ovat taas purettavissa lohkoiksi, jotka koostuvat positiolohkojen tapaan mm. perus- ja alilohkoista. Positio- ja alilohkot ovat tallennettavissa myös mallilohkoiksi, jolloin niitä voidaan käyttää, kun samaa ratkaisua tullaan tarvitsemaan samankaltaisena useammin.

Positiolohkot lukevat tietoa tuloliittimillään siten, että tuloliittimiin on liitetty erikseen määritetyt mittaustiedot ja käyttöliittymällä (GUS-asema, eli tietokone, jolla ohjataan normaalisti keitintä) annetut tiedot ja komennot. Myös muista positiolohkoista voi tulla tietoja positiolohkon tuloliittimiin. Positiolohko tuottaa lähtötiedon vastaavasti omiin lähtöliittimiinsä, jotka voivat olla linkitettyinä muun muassa näyttökuviin tai prosessinohjaukseen (esim. venttiilinohjaus). Positiolohkojen tulo- ja lähtöliittimien avulla muodostuu yksikäsitteiset muuttujanimet, joiden alkuosa on lohkon nimi ja pisteellä erotettu loppuosa on lohkonliittimen nimi. Esimerkiksi lohossa PI-K21, mikä mittaa keittimen painetta, on MES-lähtöreunaliittimen arvo järjestelmässä muuttujana PIC-K22.MES. Näyttökuvaan on sijoitettu painetta näyttämään vastaavasti putkautuskuva, joka lukee muuttujaa PIC-K22.MES. Myös tiedonsiirtolohkossa ja keittimen paineen säätölohkossa on viittaukset samaan muuttujaan.

Positiolohkoja ohjelmoidaan siten, että positiolohkon kuvaan sijoitetaan haluttuja toimintoja tekeviä perus- tai aliohjelmia. Positiolohkon reunaliittimet, eli tulo- ja lähtöliittimet yhdistellään sitten näihin positiolohkon sisäisiin lohkoihin graafisesti viestinuolten tai -lipukkeiden avulla.



### 7.2.3 *Positiolohkojen alilohkot*

Alilohkot näkyvät positiolohkoissa siten, että tuloliittimet ovat alilohkon vasemmassa reunassa ja lähtöliittimet niiden oikeassa reunassa. Alilohkoja käytetään pääasiassa kolmesta syystä. Ensinnäkin alilohko voi olla oma kokonaisuus, kuten hälytyslohko, jolloin alilohkon käyttö selkeyttää lohkorakennetta. Toisaalta alilohko voi olla identtinen eri lohkoissa, jolloin niiden kopiointi lohkoista toiseen nopeuttaa ohjelmointia. Usein tietyistä tyypillisistä alilohkoista on tehty järjestelmään mallilohkot, joita kannattaa tietenkin käyttää mahdollisuuksien mukaan. Hälytyslohkot sopivat tässäkin tapauksessa hyvin esimerkiksi. Kolmas syy alilohkojen käyttöön on niiden tarjoama lisätila suurten peruslohkojen ohjelmointiin.

Alilohkojen ja positiolohkojen merkittävin ero on, ettei prosessiaseman I/O-väylästä tai käyttöliittymästä voida tuoda tai viedä tietoa suoraan tietyn positiolohkon alilohkoon, vaan esimerkiksi mittausviestien vienti alilohkoihin pitää tehdä aina varsinaisten positiolohkojen reunal liittimien kautta. Toisin sanoen viitattavissa olevia muuttujanimiä ovat vain positiolohkon reunal liittimien nimet.

### 7.3 *Keittämön ohjaus käyttöliittymästä*

Prosessin ohjauksessa käyttöliittymänä on Windows-ympäristössä toimiva Alcont GUS. Käyttöliittymälle haetaan TotalPlant Alcont sovellusikkuna, mihin on sijoitettu prosessiasemalta päivittyvät näyttökuvat ja valikkotoiminnot. Näyttökuviin on piirretty virtauskaavion tärkeimmät linjat ja kuviin on sijoitettu myös yleensä sekunnin välein päivittyvät lukuarvot. Valikkotoiminnoista löytyy mm. hälytyslistanäyttö, mikä avautuu hälytyssummerin kuvaketta painamalla. Käyttöliittymän käytöstä on olemassa hyvä yksityiskohtainen suomen- ja englanninkielinen opas. Tässä kappaleessa tarkastellaan keittämön laitteiden ohjausta lähinnä diplomityössä esiin tulleiden huomioiden pohjalta.

Näyttökuviin on määritelty alueet, jotka hiirellä näpäyttämällä tuottavat varsinaisten näyttökuvien päälle pienempiä tarkasteluikkunoita. Näin ollen eri kuvat muodostavat hierarkisen kokonaisuuden, esimerkiksi ensimmäiseksi haetaan näyttökuva, sitten näyttökuvasta mittauksen lukuarvolaatikkoon näpäyttämällä mittauksen tarkasteluikkuna ja sitten tarkasteluikkunan laajenteen merkkiä näpäyttämällä tarkasteluikkunan laajenne. Kuitenkaan hierarkia ei ole tässä aina yksiselitteinen, sillä esimerkiksi sama tarkasteluikkuna voidaan saada useammalta eri näyttöikkunalta.

Varsinaisista näyttökuvista kaikki näytöt trendinäyttöjä lukuunottamatta on nimennyt tähän keittämösovellukseen räätälöityjä. Sen sijaan tarkasteluikkunat ovat pääosin valmiisiin kuvapohjiin perustuvia kuvia, joita luodessa joudutaan määrittelemään lähinnä vain kuvien nimet ja sijainnit sekä kuvan muuttujien tunnukset. Esimerkiksi kaikki mittaus-, säätö- ja pumppupiirien kuvat ovat tällaisia. Tarkasteluikkunoita on toisaalta mahdollista räätälöidä tarpeiden mukaan myös itse, esimerkiksi lämpötilan nostorampin tarkasteluikkuna on tehty tähän sovellukseen. Näyttökuvien ja tarkasteluikkunoiden luonti ja muokkaus tehdään sovellusasemalla olevan lohkoeditorin näyttöeditorilla.

#### 7.3.1 *Tarkasteluikkunat ja niiden parametrit*

Näyttösivulta mittauksen lukuarvolaatikkoon napauttamalla avautuu tarkasteluikkuna kuvaruudun oikeaan alakulmaan, josta se voidaan siirtää haluttuun kohtaan kuvaruu-



The screenshot shows the SAATOP\_2 software interface. It features a table with columns for 'Lukituksen Aliehtiajat' (Locking sub-items), 'K' (Cost), and 'Ylähälytys' (Alarm). The table lists items like FI7285 and PU8763 with their respective costs and alarm types. To the right of the table, there is a bar chart showing the distribution of costs across different categories (S, M, O) with values 50.00, 59.77, and 0.00 respectively. The interface also includes a menu bar with 'OHITUS' and various icons for navigation and printing.

Lukituksen Aliehtiajat	K	Ylähälytys	Alahälytys	Mittaus
FI7285	1.48	90.00	10.00	
PU8763	0.00	80.00	20.00	
	1.00	100.00	80.00	
				59.77

Legend for Bar Chart:

- S: 50.00
- M: 59.77
- O: 0.00

Tarkasteluikkunan yläosassa ovat seuraavat painikkeet:

- “±”-painike tarkasteluikkunan laajenteen näyttöä ja poisottoa varten,
- Moodinvaihtopainike säätöpiireissä, minkä tunnuksena on valittu ajomoodi (M, A tai R),
- Trendikäyräpainike, mitä napsauttamalla saadaan esiin mittauksen historiatrendit (elävä, 1 h ja 8 h). Nämä trendit ovat ikkunoina, joten ne on skaalattavissa halutun kokoisiksi ja siirrettävissä kuvaruudulla vapaasti. Trendi-ikkunoissa y-akselin skaalaus on vapaasti valittavissa.
- Tarkasteluikkunan oikeassa yläkulmassa on “Nasta”-painike, mitä painamalla tarkasteluikkuna pysyy kuvaruudulla näyttösivua vaihdettaessakin

Tarkasteluikkunan “±”-painiketta napsauttamalla avautuu vasemmalle ikkunan laajenne, mistä voidaan tarvittaessa muuttaa seuraavia parametrejä:

- 49



### 7.3.3 Sääto- ja mittausparametrien muuttaminen

Jotta laajenteen säätö- ja mittausparametreja voidaan muuttaa, on käyttäjällä oltava oikeudet tehdä tällaisia muutoksia. Järjestelmä kysyy käynnistettäessä sisäänkirjoittautujan tyyppin (Tutkija/Teekkari) ja parametrien muutosoikeus on varattu ainoastaan Tutkija-nimikkeellä kirjautuneelle käyttäjälle. Pysyvästi muutettu laajenteen parametri kannattaa vielä päivittää sinne, mistä järjestelmä lukee ko. parametrin säätöjärjestelmän mahdollisen nollauksen jälkeen, eli vastaavan säätö- tai mittauslohkon liittimeen. Tämä muutos tehdään sovellusasemalla. Osa parametreista on muutettavissa vain sovellusaseman kautta. Parametrien muutosten dokumentointi voidaan tehdä päivittämällä tämän diplomityön liitteen numero 5 arvoja. Käytännössä dokumentointi olisi helpointa suorittaa tiedonsiirtoprotokollan avulla suoraan dokumentitiedostoon.

### 7.3.4 FILT-suodatusparametri

FILT-suodatusvakio toimii siten, että se tasoittaa mittaviestin skaalauslohkosta (AILI4) tulevaa mittausarvoa seuraavaan eksponentiaalisuodatuskaavan mukaisesti:

$$MES_N = (1 - FILT) * MES_{N-1} + FILT * INP_N \quad (5)$$

eli  $MES_N = FILT * (INP_N + (1 - FILT) * INP_{N-1} + (1 - FILT)^2 * INP_{N-2} \dots) \quad (6)$

missä  $MES_N$  on suodatettu mittausarvo,  
 $MES_{N-1}$  on lohkon edellisen toimintasyklin suodatettu mittausarvo,  
 $FILT$  on suodatusvakio,  
 $INP_N$  on uusi mittaviesti skaalattuna mittausalueelle ja  
 $INP_{N-i}$  on mittaviesti  $i$  sykliä aikaisemmin skaalattuna mittausalueelle.

FILT-parametrin arvo on välillä 0 - 1, arvon ollessa 1, suodatusta ei suoriteta lainkaan, arvolla 0 suodatus on täydellinen, eli mittaukset eivät päivyty järjestelmään lainkaan. Suodatus toimii järjestelmässä ennen muuta käsittelyä, joten suodatusvakion arvon ollessa 0 järjestelmä näyttää mittausarvoa, joka oli ennen suodatusvakion asettamista nollassa. Tällöin käyttäjä tai säätöjärjestelmä ei huomaa esimerkiksi kohonnutta painetta tai lämpötilaa eivätkä järjestelmälukituksetkaan reagoi paineen tai lämpötilan nousuihin. Tämä voi taas johtaa huomattaviin työturvallisuus- tai laitevaurioriskeihin. Suodatusvakioksi ei siis saa jättää arvoa 0.

### 7.3.5 Hälytysparametrit, hälytyksenestokytkin ja hystereesi

Muita mittaus- tai säätöpiirin laajenteissa toimivia parametreja ovat hälytyksen ylä- ja alaraja sekä hälytyksenestokytkin. Hälytyksenestokytkintä kannattaa käyttää esimerkiksi keittimen pinnanmittauslohkossa, jossa mittaus heittelee jopa mittausalueen ulkopuolelle. Hälytysparametreja aseteltaessa on turvallisuussyistä hyvä välttää epäoleellisten hälytyksien tekoa – jos hälytyksiä tulee jatkuvasti, ei oleellisimpiin kiinnitetä välttämättä riittävästi huomiota. Toisaalta hälytyksiä voidaan käyttää myös esimerkiksi tasaisen lämpötilan valvontaan syrjäytyksissä.

Hälytysrajojen ylityksen jälkeen summerihälytys poistuu punaista hälytyssummerin kuvaketta painamalla. Tätä pitää painaa vaikka itse hälytyksen syy olisikin jo poistunut. Varsinainen hälytys poistuu vasta kun mittaus on tullut hälytysrajojen sisäpuolelle niin reilusti, että se ylittää hystereesikynnyksen. Hystereesikynnyksen suuruus on hystereesin parametri (yleensä 0,03) kertaa hälytysalueen koko. Hystereesin pitää-



si olla vähintään mittausten huojuntaa suurempi. Hystereesin parametria ei voida muuttaa käyttöliittymästä, vaan hystereesin suuruus muutetaan tarvittaessa lohkoeditorista. Se muutetaan muuttamalla tarkasteltavan hälytys- tai säätölohkon sisältämää LIMIT-lohkon HYS-parametria.

## 7.4 PID-säätimet

PID-säätimet on käytössä kaikissa säätöjärjestelmän säädinlohkoissa. PID-säätimien toiminnalle on tehty sovellusasemaohjelmoinnilla tiettyjä määrittelyjä, kuten säätimen toimitus suunnan määrittely. Varsinaisten säätöparametrien, vahvistuksen sekä integrointi- ja derivointiajan säätö tehdään normaalisti käyttöliittymästä.

### 7.4.1 PID-säätimien ohjaussuure ja toimitus suunnat

Säätöpiirin tarkasteluikkunassa alimmaisena näkyvä (Kuva 23) ohjaussuure, O, on prosessilaitetta suoraan tai kytkinlohkon kautta ohjaava prosenttiarvo ( $0 \leq O \leq 100$ ). Venttiileiden asennot ja pumppujen taajuusmuuntajien nopeudet määräytyvät siis ohjaussuureen mukaisiksi. Myös vastusten lämmitystehoa ohjataan ohjaussuureella, mutta ohjaus tapahtuu kytkinlohkojen kautta. Kytkinlohko muuttaa säätimen prosenttiviestin ohjaussuuretta vastaavaksi lämmityssajan prosenttiosuudeksi ja ohjaa lämmitysvastusta binääri viestin avulla (päällä tai pois päältä).

### 7.4.2 PID-säädinten käyttömoodit, MAN, AUTO ja REM

Kaikista PID-säätimistä voidaan valita säätimen käsikäyttö- (MAN) tai automaattimoodi (AUTO). Näiden lisäksi keittimien lämpötilasäätimistä (TIC-B01 ja -G01) voidaan valita ulkoinen asetusarvon säätö moodi (REM) lämpötilan "rampituksia" varten. Valittu ajomoodi nähdään säätöpiirin tarkasteluikkunan yläosan moodinvaihtopainikkeesta, jossa on moodista riippuen kirjan M, A tai R.

Käsikäyttömoodissa säädetään suoraan ohjaussuuretta (O). Automaattimoodissa säädin muuttaa ohjaussuuretta PID-säätimenä, jotta prosessin tilasta kertova mitaussyure (M) lähestyisi säätimeltä asetettua asetusarvoa (S). REM-moodi toimii muuten kuin automaattimoodi, mutta siinä tavoiteltava säätöarvo luetaan ulkoisesta lähteestä, joten säätimen kuvassa esitetty asetusarvo ei toimi enää tavoitearvona.

AUTO-moodia on keitoissa toistaiseksi käytetty vain lämpötilojen ja keittimen syrjäytysventtiilin (PIC-K22) säätöihin. Sen sijaan normaalit kaasaukset ja erityisesti pumppujen käyttö on tehty MAN-moodissa suoraan ohjaussuuretta muuttamalla.

REM-moodiin siirrytään automaattimoodista, siinä säädin ei siis enää säädä oman asetusarvonsa mukaisesti vaan PID-säädöllä tavoiteltava asetusarvo luetaan ulkoisesta lähteestä. Esimerkiksi keittimen vaipan lämpötilaa voidaan säätää REM-moodilla, jolloin lämpötilasäädön asetusarvona käytetään lämpötilasäädön 'ramppilohkon' antamaa arvoa. Ramppilohkon antama tavoitearvo voi pysyä vakiona tai muuttua lineaarisesti ajan funktiona suuremmaksi tai pienemmäksi. REM-säätö moodi on ollut toistaiseksi käytössä vain lämpötilan säädöissä.

### 7.4.3 PID-säätimen parametrit K, I ja D

PID-lohkojen toiminnan kuvaus on Honeywell'n ohjekansiossa 3 /46/. Säädin muuttaa ohjausparametrin arvoa jokaisen syklin aikana tiettyjen laskusääntöjen mukaan. Laskusääntöihin vaikuttaa säätölohkojen lohkoparametrit mod (ajomoodi) ja DER



(derivoinnin hidastusvakio). Lohkoparametri mod on 2 ja DER on 0 jokaisessa järjestelmän lohossa, joten automaatti- ja REM-moodissa säädin toimii seuraavien kaavojen mukaan, ohjaus  $O_N$  pysyy kuitenkin aina välillä 0 - 100:

$$O_N = (O_{N-1}/100 + K*(PID\text{-muutos}))*100 \quad (7)$$

$$PID\text{-muutos} = \Delta E_N + t_{sykli}E_N/60 I - 60 D(\Delta M_N - \Delta M_{N-1})/t_{sykli} \quad (8)$$

$$O_N = (O_{N-1}/100 + K*(\Delta E_N + t_{sykli}E_N/60 I - 60 D(\Delta M_N - \Delta M_{N-1})/t_{sykli}))*100 \quad (9)$$

$$O_N = (O_{N-1}/100 + K*(\Delta E_N + t_{sykli}E_N/60 I - 60 D(M_N - 2 M_{N-1} + M_{N-2})/t_{sykli}))*100 \quad (10)$$

Kaavoissa	$O_N$	on ohjaussuureen arvo N:llä syklillä,
	$O_{N-1}$	on ohjaussuureen arvo (N-1):llä syklillä, eli edellinen arvo,
	K	on säädön vahvistuskerroin,
	E	saadaan, kun asetusarvosta vähennetään mittausarvo ja tämä tulos jaetaan mittausalueella, eli (SET - MES)/WID,
	$\Delta E_N$	on E:n muutos syklissä,
	$t_{sykli}$	on syklin kesto aika sekunteina,
	I	on integrointiaika minuutteina, kun $I > 0$ ,
	D	on derivointiaika minuutteina ja
	M	on mittausarvo jaettuna mittausalueella, eli MES/WID

Säätölohkot suoritetaan aina siis syklin välein. Syklin kesto aika on useimmiten noin sekunti. Mitä suurempi on vahvistuskerroin K tai mittaus- ja tavoitearvon erotuksen suhde mittausalueen leveyteen, sitä suurempi on myös ohjausarvon muutos. Toisaalta säätö nopeutuu, eli käytännössä voimistuu myös I:n pienentyessä.

Useimmiten kokeilemalla suoritettavissa säädöissä kannattaa tyytyä käyttämään PI-säätöä, koska sen viritys on huomattavasti PID-säätöä yksinkertaisempaa ja koska sillä saavutetaan usein aivan riittävä säätökyky. PI-säädössä D:n arvoksi annetaan 0. Tällöin  $O_N$ :n kaavaksi tulee suoralla säätötavalla:

$$O_N = O_{N-1} + K*(\Delta E_N + t_{sykli}E_N/60 I)*100 \quad (11)$$

missä	$O_N$	on ohjaussuureen arvo N:llä syklillä,
	$O_{N-1}$	on ohjaussuureen arvo (N-1):llä syklillä, eli edellinen arvo,
	K	on säädön vahvistuskerroin,
	E	saadaan, kun asetusarvosta vähennetään mittausarvo ja tämä tulos jaetaan mittausalueen leveydellä, eli (SET - MES)/WID,
	$\Delta E_N$	on E:n muutos syklissä,
	$t_{sykli}$	on syklin kesto aika sekunteina,
	I	on integrointiaika minuutteina, kun $I > 0$

Pienentämällä I:n arvoa, nopeutetaan säätöä. Kuitenkin jos I:n arvoksi annetaan 0, tulkitaan I järjestelmässä äärettömäksi, eli säätimen toimii P-säätimenä ja säädön kaava yksinkertaistuu muotoon:



$$O_N = O_{N-1} + K \cdot \Delta E_N \cdot 100 \quad (12)$$

missä	$O_N$	on ohjaussuureen arvo N:llä syklillä,
	$O_{N-1}$	on ohjaussuureen arvo (N-1):llä syklillä, eli edellinen arvo,
	K	on säädön vahvistuskerroin,
	$\Delta E_N$	on lausekkeen (SET - MES)/WID muutos syklissä

## 7.5 Mittaukset

### 7.5.1 Yleistä mittauksista

Mittaukset voidaan esittää järjestelmässä joko suodatettuina tai suodattamattomina. Käytetty suodatustapa on eksponentiaalisuodatus (kts. kohta 7.3.4). Suodatuksen käyttö on järkevää keittimen pinnankorkeuden kaltaisissa mittauksissa, joissa suodattamattoman mittausarvon värähtely häiritsee merkittävästi todellisen keskimääräisen mittausarvon näkymistä. Toisaalta mittauksen suodatus hidastaa aina todellisen muutoksen näkymistä mittauksessa.

Säätöjärjestelmä kerää mittaustietoa, jota voidaan tarkastella käytön aikana tarkasteluikkunan laajenteesta löytyvän trendikäyrän avulla. Trendikäyrän tiedot eivät kuitenkaan jää pysyvään muistiin, joten jos mittaustietoja halutaan käsitellä esim. Excelissä, ne täytyy siirtää sovellusaseman tiedonsiirtoprotokollan avulla PC-ympäristöön (kts. 7.6).

### 7.5.2 Säiliöiden pinnanmittaukset ja kalibrointisuorat

Keitintä lukuunottamatta paine-eron välitykseen käytetyt ylä- ja alapaineanturit ovat sijoitettu säiliöiden ylä- ja alaosaan. Näistä antureista säiliöiden ylä- ja alapaineet välittyvät öljyllä täytettyjen kapilaariputkien välityksellä paine-eroanturille, joka mittaa ylä- ja ala-anturien paine-eroa. Paine-eroanturi muuttaa paine-eron 4 - 20 milliampeerin virtaviestiksi, joista 4 mA vastaa periaatteessa paine-eroa 0 ja 20 mA periaatteessa anturin kuoreen stansattua maksimipaine-eroa. Paine-eroantureiden 0-kohta on säädetty laitteiston käyttöönoton yhteydessä vastaamaan paine-eroa 0.

Paine-eroanturin lähettämä milliampeeriviesti muunnetaan järjestelmässä aluksi näennäisiksi tilavuusyksiköiksi siten, että 4 mA vastaa 0 litraa ja 20 mA mitattavan säiliön koko tilavuutta. Näin saadut litrat voidaan muuttaa vastaamaan todellisia litroja jakamalla ensin ne säätöjärjestelmään kiinteästi asetetulla lukuarvolla, minkä pitäisi vastata keskimääräistä säiliöissä pidetyn nesteen tiheyttä (suhteessa kylmään veteen, yleensä 0,95 - 1,15) ja muuttamalla kolmen kalibrointisuoran avulla tämä "nestepinnan korkeusarvo" vastaamaan mahdollisimman hyvin todellista tilavuutta. Toistaiseksi kaikkien säiliöiden nesteiden tiheysarvona on käytetty arvoa 1. Tiheysarvon muuttamiseksi pitää ainakin toistaiseksi muuttaa ohjelmalohkon muuttujan arvoa itse sovellusasemalta.

Kalibrointisuoria tarvitaan, koska säiliöt eivät ole niin korkeita, että niissä ala- ja ylä-anturin paine-ero nousisi vastaamaan paine-eroantureiden maksimipainetta ja toisaalta säiliöt eivät ole myöskään täysin lieriömäisiä, vaan niillä on usein esimerkiksi kartiopohja ja kapeneva yläosa. Myös keittimen yläosan pinnanmittauksessa voisi havainnollisuuden vuoksi käyttää kalibrointisuoria muuttamaan pinnankorkeuden prosenttiarvo hakekorin yläpuolisen nesteen tilavuudeksi. Liitteessä 5 on esitetty 15. 10.



1999 käytössä olleet eri mittauslohkojen kalibrintisuorien muuttajat ja nesteiden tiheysvakiot.

#### 7.5.2.1 Kuumavesiakun pinnankorkeuden mittaus

Kuumavesiakkuun on kiinnitetty putki, joka on ylä- ja alaosaan suorassa yhteydessä akkuun. Tämän putken pinta on yhtyvien astioiden tapaan sama kuin akun pinta. Putkessa kulkee magneettiuimuri ja putken ulkopuolelle on kiinnitetty magneettiuimuriin reagoiva visuaalinen osoitin, mikä näyttää pinnankorkeuden punaisena pylväänä. Uimuriputkeen on kiinnitetty myös mittausjärjestelmään liitetty, magneettiuimurin korkeuden 4-20 mA:n virtaviestillä ilmaiseva anturi. Virtaviesti skaalataan järjestelmässä 40 - 220 litraksi. Käytetty uimurirakenne on hyvin yksinkertainen ja luotettava. Mitään tarkistusmittauksia ei mitatulle nestemäärälle ole tehty, koska absoluuttiset nestemäärät eivät ole oleellisia, mittauksen luotettavuus ja toistettavuus on tarkan litramäärän tuntemista tärkeämpää.

Pinnanmittausta käytetään järjestelmässä mm. estämään akun kiertopumpun ja sähkölämmittimen toiminta, jos pinnanmittauslukema on korkeampi kuin ylälukitusraja tai matalampi kuin alalukitusraja. Ylälukitus on tehty estämään akun lämmitys, jos akku on hydraulisesti täynnä nestettä. Pumpun ja erityisesti 18 kW sähkölämmittimen, XE-F01 suojaamiseksi haluttiin varmistaa myös, ettei lämmitintä voida käyttää ilman tehokasta vesikiertoa eli ettei pinta ole mittausalueen alapuolella. Kuumavesiakun lämmityksessä, missä tavoitelämpö voi olla esimerkiksi 200 °C, on huomioitava myös veden lämpölaajeneminen, minkä takia 200 asteeseen lämmitettäessä akun maksimi täyttömäärä 20-asteisella vedellä on 170 litraa.

#### 7.5.3 Lämpötilamittaukset

Lämpötilan mittaukset perustuvat Pt-100 tyyppisiin lämpötila-antureihin, joiden mitta-alue on 0 - 250 °C. Näiden vastus kasvaa lämpötilan funktiona lineaarisesti. Keittämölle on asennettu lisäksi erilliset muuntimet, jotka muuntavat Pt-100 tyyppisten lämpötila-anturien antamat vastukset ohjausjärjestelmän käyttämiksi 4-20 mA:n virtaviestiksi. Ohjausjärjestelmässä virtaviesti skaalataan sitten välille 0 - 250 °C siten, että 4 mA vastaa 0 °C ja 20 mA vastaa 250 °C. Lämpötilamittaus on siis anturin, vastusviesti - virtaviestimuuntimen ja säätöjärjestelmän yhteistoiminnan tulos.

Muuntimien lämpeneminen voi vaikuttaa muuntotulokseen, minkä takia virta kannattaa pitää päällä järjestelmässä hyvän aikaa ennen lämpötilamittausten tarkistusta ja säätöä. Pienet heitot antureiden mittauksissa voivat olla mahdollisia ja anturijohtojen jatkokin voivat antaa oman virheensä mittauksiksi. Näitä virheitä voidaan korjata muuntimien säätöjä muuttamalla. Nämä säätömuutokset pitäisi kuitenkin kirjata joka säätökerralta ylös ja koko mittausketju, anturi, muunnin, säätöjärjestelmä tulisi aina kalibroida muuntimen säätöjen jälkeen tarkan kalibrintiunin tms. avulla.

Lämpötilamuuntimien toimintaa on helppo tarkkailla simuloimalla antureita eri vastuksilla ja tarkkailemalla muuntimien tuottamaa virtaa virtamittauksella. Toistaiseksi lämpötilamuuntimet ovat säädetty toimimaan oikein ideaalisille lämpötila-antureille. Jos muuntimien säätöjä muutetaan anturien ja anturien jatkojohtojen mahdollisesti aiheuttamien virheiden kompensoimiseksi, tulee muunnetut viritysarvot dokumentoida, jotta lämpötilamuuntimia kalibroitaessa osataan mittauksia verrata muunnetuihin viritysarvoihin.



Anturit ovat kiinnitetty prosessilaitteisiin Svagelock'n helmiliitoksilla, joiden pitäisi kestää tarkistuksissa tarvittavaa anturien irtiottoa ja uudelleen kiinnitystä. Lämpötila-antureiden irrotuksen etuna on tarkan kalibrointiuunin käyttömahdollisuus. Käytännössä mittausten tarkistuksissa olisi syytä varautua ainakin liitoshelmien vaihtoon.

Keittimen pohjan lämpötilamittausanturi on niin pitkä, että sen asennuksessa jouduttiin koko keitintä nostamaan kiinnikkeistään ylös. Keittimen pohjalämpömittauksen anturin tarkistus kannattaakin hankalan irrotettavuuden takia pyrkiä tekemään ilman lämpötila-anturin irrotusta, esimerkiksi käyttämällä luotettavaksi todettua toista Pt100 anturia vertailumittauksena tai testaamalla anturin antamia arvoja kiehuttamalla vettä eri paineissa (paineen mittaus voidaan tehdä melko tarkasti, etenkin kun huomioidaan ilman paineen vaikutus absoluuttiseen paineeseen). Keittimen pohjan lämpötilamittaus on osittain pohjateflonpalan ympäröimänä. Pohjalämpötila-anturin toiminnan kalibroinnissa kannattaakin teflonpala irrottaa kierretangon avulla, jottei teflonpalasta tule virhettä kalibrointitulokseen. Teflonpalalla voi siis olla vaikutusta keittimen pohjan lämpötilamittaukseen.

## **7.6 Tiedonsiirto järjestelmästä Exceliin**

Keittojen kulun dokumentoimiseksi tiedot siirretään järjestelmästä suoraan Excel-sovellukseen. Exceliin voidaan siirtää periaatteessa kaikki säätöjärjestelmän muuttujat, eli mittaustietojen lisäksi pumppujen ja venttiilien ohjaustiedot. Tiedonsiirto on tehty TKK:n sovellutuksessa tiedonsiirtolohkon avulla. Tiedonsiirtolohkoa käyttävän tiedonsiirron edellytyksenä on, että siirrettävä tieto on olemassa positiolohkon reuna-liittimenä (kts. 7.2.2) ja että tähän lohkoon on viittaus tiedonsiirtolohkossa.

Tiedontallennus järjestettiin tässä sovelluksessa sovellusaseman lohkoeditorin mahdollistaman säätölohkojen monitorointimahdollisuuden ja Windows-tiedonsiirtoprotokollan avulla. Tiedonsiirrosta on olemassa yksityiskohtainen ohje keittämön yleisohjeessa (Liite 6). Nykyisellään tiedonsiirtolohkolla voidaan siirtää käytännössä lähes kaikki tieto, mikä näkyy käyttöliittymän näytökuissa (mittaustiedot, asetus- ja säätöarvot sekä H-tekijät). Lohkorakenteita muuttamalla pystytään tarvittaessa siirtämään myös kaikki lohkojen sisäiset muuttujat, kuten säätövakiot.

Nykyinen tiedontallennustapa vaatii jonkin verran järjestelmätuntemusta, minkä takia se ei oikein sovi tilapäiskäyttäjille (esim. harjoitustyöntekijät). Ongelman voitaisiin ratkaista hankkimalla keittämölle Honeywell'in Measurex-järjestelmään kuuluvan HIC-tiedontallennusaseman.

# **8 KEITTOSIMULAATIOMALLIT JA SISÄÄNAJOKEITOT**

## **8.1 Keittämön ohjeistus ja dokumentointi**

Tämän diplomityön yhtenä tavoitteena oli varmistaa, että uuteen monimutkaiseen keittämöön tulee mahdollisimman selkeä dokumentaatio ja ohjeistus. Keittämön käyttöönoton yhteydessä kirjoitetut dokumentit ovat joko osana diplomityötä tai sen liitteinä, muut ohjeet löytyvät keittämöltä tai laboratorioinsinöörin tai keittämöstä vastaavan assistentin huoneista.

Keittämöllä käytettävistä ohjeista tärkeimmät ovat laitekohtaiset käyttöohjeet (esim. pumppujen ja säätöjärjestelmän ohjeet), keittämön virtauskaavio sekä keittotapakoh-



taiset ohjeet. Diplomityön yhteydessä on kirjoitettu syrjäytyskeittämölle lisäksi "Yleisohje", mikä sisältää kuvauksen laitteistosta ja joitakin käytännön työssä hyväksi havaittuja toimintaohjeita keittämöllä työskennellessä, sekä dokumenttiluettelo, mihin on listattu kaikki keittämöstä oleva kirjallinen dokumentaatio (käyttäjien tai laitevalmistajien tekemä).

Yleisohjeen ideana on, että siihen koottaisiin myös käsitteitä, kuten "syrjäytys kiertopumpulla" tai "Potku", joihin voidaan sitten viitata keittokohtaisissa työohjeissa. Tämä nopeuttaa keitto-ohjeiden tekoa, kun varsin monimutkaisiinkin työvaiheisiin voidaan viitata yksiselitteisellä käsitteellä. Ajatuksena on myös, että yleisohjetta (kuten dokumenttiluettelo ja keittämön virtauskaaviota) päivitetään aina kun siihen on aihetta. Yleisohjeen ensimmäinen versio on esitetty liitteessä 8.

## **8.2 Lipeiden kierrätykset edellisistä laboratoriokeitoista**

Teollisissa keittoprosesseissa keittoon laitettavien lipeden ominaisuudet riippuvat merkittävästi edellisten keittojen suorituksesta, eli siitä mitä haketta näissä on käytetty, mikä on ollut alkaliannos ja alkalin kulutus keitossa ja mitkä ovat olleet keiton eri vaiheisiin annosteltujen lipeden ominaisuudet. Keittoon laitettavien lipeden ominaisuuksiin vaikuttavat myös syrjäytystehokkuudet ja lipeden mahdollinen välivarastointi.

Ideaalisessa laboratoriosimuloinnissa tulisi periaatteessa jäljitellä keitosta poistuvien lipeden ominaisuuksiin vaikuttavia tekijöitä mahdollisimman tarkasti niin monessa perättäisessä keitossa, että perättäisten keittojen lipedominaisuudet vakiintuisivat samoiksi. Tällöin sarjan ensimmäiset keitot ovat tasauskeittoja ja vasta viimeisten keittojen tulisi antaa tehdasprosessia vastaavan keittotuloksen. Tarvittava tasauskeittojen määrä riippuu mm. ensimmäisen tasauskeiton lipelistä. Jos käytetään lipeitä, jotka ovat otettu testattavaa keittomallia hyvin lähellä olevasta keitosta (esim. tehdasmitan Superbatch-keitosta, jossa käytetään samoja olosuhteita ja haketta kuin laboratoriokeitossa) voidaan ajatella, että yhdenkin tasauskeiton jälkeen lipedominaisuudet olisivat riittävästi tasaantuneet. Sen sijaan, jos lähtölipeät on tehty ionivaihdettuun veteen synteettisistä raaka-aineista, tarvitaan useampi tasauskeitto.

Lipeiden kierrätyksen ideana on siis nähdä myös keiton vaikutus lipeisiin, eikä pelkästään keitto-olosuhteiden vaikutus massan ominaisuuksiin. Lipeäkierrätyksen haittana on lisääntynyt työ määrä etenkin silloin, jos joku keitto epäonnistuu, sillä yhden epäonnistuneen keiton uusimiseksi on tehtävä useita keittoja. Jotta lipeäkierrätykset olisivat mahdollisimman aitoja, ei huuhteluliipeää voida juurikaan käyttää ja laboratoriokeittimen syrjäytystehokkuudet tulisivat vastata tehdassyrjäytyksien tehokkuuksia. Tehdaskeittossa suuren keitinkoon aiheuttamat epähomogeenisuudet estävät joka tapauksessa täydellisen jäljittelyn, realistisempaa onkin ajatella laboratoriokeiton jäljittelevän tiettyä tehdaskeittimen osaa. Joka tapauksessa lipeden kierrätysten avulla pystytään saamaan realistinen keittotulos keittosuorituksen ajankohdasta huolimatta täysin toistettavasti. Esimerkiksi luomalla vakiokeittomalli, missä ensimmäinen keitto tehdään ionivaihtoveteen tehdyillä puhtailla teknisillä liuoksilla ja jossa kierrätetään mustalipeitä esimerkiksi kolmesta välikeitosta, saadaan periaatteessa pitkällä aikavälillä toistettavampia keittoja, koska mustalipeiden muutosten vaikutus jää näin pois.

Lipeiden kierrätys tulee oikeastaan sitä monimutkaisemmaksi, mitä monimutkaisemmasta keittoprosessista on kyse. Esimerkiksi SuperBatch-keittomenetelmää jäljittele-



villä sisäänajokeitoilla ei tämän työn yhteydessä katsottu tarpeelliseksi lähteä kierrättämään lipeitä, vaan mustalipeinä käytettiin tehdasmustalipeitä ja valkolipeänä laboratoriovalkolipeää.

### 8.3 SuperBatch -laboratoriokeittojen sarja

Uuden laboratoriokeittimen avulla tulisi pystyä jäljittelemään mm. SuperBatch-keittomallia ja koska näistä keitoista oli olemassa melko hyvät referenssit, tehtiin keittämön sisäänajoksi keittosarja SuperBatch keittomallilla. Keittosarjassa tutkittiin imeytymisen merkitystä massan ominaisuuksiin. Pääasiallinen tavoite oli kuitenkin nähdä, miten hyvin uusi keitin sopii SuperBatch-keiton simulointiin.

Keittosarjaan kuului muutama esikoekeitto ja neljän SuperBatch-laboratoriokeiton sarja. Keittosarjan muuttujina olivat höyrytys sekä paine imeytyksessä ja keitossa. Keittotuloksina saatiin lipeiden väkevyudet, keiton saanto, massan rejektipitoisuus ja lajiteltu kappaluku. Koepisteet ovat esitetty yhdessä tulosten kanssa taulukossa 6 (kohdassa 8.3.5).

#### 8.3.1 Teollinen SuperBatch-prosessi

SuperBatch-eräkeitto eroaa perinteisestä eräkeitosta siten, että keitto tehdään keittimen ollessa hydraulisesti täynnä. Tämä vaatii perinteistä korkeampaa neste-puusuhdetta, mihin päästään kierrättämällä keittoneesteet useamman keiton eri keittovaiheiden kautta. Keittoneesteiden kierrätyksellä päästään myös perinteistä keittoa huomattavasti pienempiin lämmön kulutuksiin ja muunneltuun keiton alkaliprofiliin. Myös keittoneesteiden keskimääräinen sulfiditeetti nousee, koska eri keittovaiheissa vety-sulfidin kulutus on alkalin kulutusta alhaisempi. Sulfiditeetin nousulla on todettu olevan suotuista vaikutus sulfaattikeiton tehokkuuteen.

Yhdessä teollisessa SuperBatch-keittomallissa keitin täytetään hakepakkauksen jälkeen keittimen alaosaan syötettävällä lämminmustalipeällä. Lämminmustalipeää pumpataan jonkin verran hakepatsaan läpi, jotta keittimen yläosassakin oleville hakkeille riittäisi alkalia. Täytön jälkeen poistoventtiili suljetaan, mutta pumpppausta jatketaan niin, että keitin paineistuu. Usein tässä vaiheessa lämminmustalipeän annetaan imeytyä jonkin aikaa hakkeisiin, joten lämminmustalipeää voidaan kutsua myös imeytysmustalipeäksi.

Lämminmustalipeätäytön ja -imeytyksen jälkeen keittimessä oleva lipeä syrjäytetään keittimen alaosaan syötettävällä kuumamustalipeällä. Lämmin- ja kuumamustalipeää on käytetystä alkalitasosta riippuen tarpeellista vahvistaa valkolipeällä. Varsinainen kuumennetulla valkolipeällä tehtävä valkolipeäsyrjäytys seuraa kuumamustalipeäsyrjäytystä ja sen jälkeen keittimen lämpötila nostetaan keittolämpötilaan (n. 160 - 170 °C). Valkolipeän annostelussa syrjäytynyt kuumamustalipeä johdetaan imeytyslipeäsäiliöön, lipeää jäähdytetään, jos sen lämpötila on yli 100 °C.

Keitto lopetetaan syrjäyttämällä keittolämpötilassa oleva keittoneeste pesemöltä saatavalla pesulipeällä. Pesulipeäsyrjäytystä jatketaan kunnes keittimen lämpötila on alle 100 °C ja pesulipeäsyrjäytyksessä syrjäytynyt kuumin ja väkevin lipeä johdetaan kuumamustalipeäsäiliöön ja jäähtynyt ja laimentunut lipeä jäähdytetään paineettomaksi (alle 100 °C) ja johdetaan lämminmustalipeäsäiliöön.



### 8.3.2 Keittosarjan hake ja lipeät

Keitoissa käytettiin Kaukaan mäntyhaketta. SuperBatch-keitolle on tyypillistä alhainen rejektin määrä, minkä takia keittojen tasaisuuserojen löytymiseksi laitettiin hakepusseihin 4500 gramman (abs.k.) akseptijakeen lisäksi (SCAN-CM 40:88-seulonta) 500 grammaa (abs.k) seulonnan ylipaksua jaetta. Keittopussit pakastettiin odottamaan keittokokeita ja haketta sulatettiin pusseissaan kylmiössä 3 - 5 vuorokauden ajan ennen keittoja.

Lämmin- ja kuumamustalipeä oli haettu SuperBatch-keittoa käyttävältä Metsä-Rauhan tehtaalta 31. 5. 1999. Tässä keittosarjassa ei siis syrjäytyneitä keittolipeitä kierätetty seuraaviin keittoihin. Alkalisuus tehollisena alkalina (titrattu laimennettuna pH-lukuun 11) oli lämminmustalipeällä 10 g/l ja kuumamustalipeällä 23,5 g/l. Keitoissa käytetty valkolipeä tehtiin teknisestä NaOH:sta ja Na<sub>2</sub>S:sta, ja sen alkalisuus oli 120 g/l ja sulfiditeetti 38 %.

### 8.3.3 Lipeäsyrytytysten lämmönsäätö keittosarjassa

Lämmin-, kuuma- ja valkolipeäsyrytyksissä syryyttävät lipeät pumpattiin lämmittämättömistä ja paineettomista säiliöistä keittimen kiertopumppunakin toimivan mäntäpumpun avulla lämmönvaihtokierukan kautta keittimen alaosaan. Syrytyneet lipeät kulkivat keittimen yläosasta syrytysventtiilille ja sieltä A-säiliön viereisen ulostulon kautta jäädyttimelle, mistä ne valuivat edelleen mitta-asteikoin varustettuihin lipeäkanistereihin.

Koska tulevat liuokset pumpattiin lämmönvaihtokierukan läpi, pystyttiin niiden lämpötila säätämään helposti keittimen vaipan lämpötilaa säätämällä. Toisaalta keittotilan reunan lämpötila oli kiinteässä sidoksessa tulevan liuoksen lämpötilaan, joten syrytyslämmityksissä keittimen sisältö lämpeni ennen varsinaista syrytyksenvyöhykettä myös reunojen lämmittävän vaikutuksen takia, mitä ei tapahdu teollisessa SuperBatch-prosessissa. Reunojen lämmittävällä vaikutuksella voi olla merkitystä syrytystehokkuuteen. Jos lipeä laajenee keittimen reunoilla paljon, voi keittimeen muodostua sisäinen lipeäkierto.

Mahdollisen höyrytyksen vaikutus imeytyslämpötilaan pyrittiin eliminoimaan muuttamalla keittimeen tulevan imeytyslipeän lämpötilaa siten, että höyrytyksellisissä keitoissa imeytyslipeän lämpötila oli 90 °C:een sijasta 81 °C.

### 8.3.4 SuperBatch-laboratoriokeiton suoritus

#### 8.3.4.1 Lämminmustalipeätäyttö ja -syrytytys

Mahdollisen höyrytyksen jälkeen liuoskiertolinja ja keitin täytettiin lämminmustalipeällä, minkä jälkeen pumppausta jatkettiin ja keitin paineistettiin imeytyspaineeseen. Pumppausta jatkettiin imeytyspaineessa samanaikaisesti raottamalla syrytysventtiiliä siten, että liuos pinta pysyi hakekorin yläpuolella ja likimain vakiona ja lämminmustalipeää syrytyi ulos keittimestä 2 - 3 litraa. Syrytytyissä lämminmustalipeissä syötetyn lipeän alkalisuus tippui arvosta 10 g/l arvoon 0 - 2 g/l. Lämminmustalipeää (LML) annosteltiin yhteensä n. 24,5 litraa, joten lämminmustalipeätäytön alkaliannos tehollisena alkalina on 4,8 %. Täyttö ja syrytytys kestivät yhteensä n. 9 minuuttia. Lämminmustalipeän annettiin sitten imeytyä hakkeisiin siten, että kuumamustalipeä-



syrjäytys aloitettiin, kun lämminmustalipeätäytön alusta oli kulunut yhteensä 30 minuuttia.

#### 8.3.4.2 Kuumamusta- ja valkolipeäsyрjäytykset

Kuumamustalipeäsyрjäytyksen aluksi suoritettiin "potku", eli keittimen vaippa nostettiin kuumavesiakun avulla hyppäyksellisesti parissa minuutissa tavoitelämpötilaansa 159 °C, jolloin keittimeen tulevan lipeän lämpötila nousi 156 °C:een. 17 litran kuumamustalipeäsyрjäytystä seurasi välittömästi samassa lämpötilassa valkolipeäsyрjäytys, jossa valkolipeää (VL) laimennettiin 4,5 litralla kuumamustalipeää(KML).

Valkolipeäsyрjäytys aloitettiin siten, että kuumamustalipeän pumppausnopeus laskettiin pumppausnopeudesta 0,85 l/min nopeuteen 0,45 l/min ja valkolipeän pumppaus aloitettiin nopeudella 0,7 l/min. Kuumamustalipeäsyрjäytyksessä oli siis tarkoitus syрjättää lämminmustalipeä ja samanaikaisesti lämmittää keitin, kun taas valkolipeäsyрjäytyksessä lähinnä annosteltiin keittovaiheen kemikaalit.

Kuumamustalipeää annosteltiin siis syрjäytyksessä yhteensä 21,5 litraa ja sen tehollinen alkalisuus oli 23,5 g/l. Valkolipeää annosteltiin 7,14 litraa. KML- ja VL-syрjäytyksessä poistui mustalipeitä keskimäärin yhteensä 29,2 litraa (keittimen pinta laski keskimäärin puolen litran verran) ja poistuneen lipeän titrattu tehollinen alkalisuus oli noin 4 g/l. Näin ollen voidaan sanoa, että valkolipeällä annostellun 17,0 % tehollisen alkaliannostuksen lisäksi mustalipeiden nettoalkaliannos KML- ja VL-syрjäytyksessä oli 7,8 % puusta, eli kuumamustalipeä- ja valkolipeäsyрjäytyksissä kokonaisalkaliannos oli 24,8 % puusta. Yhteensä keiton kokonaisalkaliannostukseksi tuli siis 29,6 %.

#### 8.3.4.3 Nosto ja keitto

Valkolipeän annostelun jälkeen keittimen lipeäkiertoventtiilit laitettiin normaaliin kiertoasentoon, eli kierrätyspumppuna toimiva mäntäpumppu imee keittolipeän keittimen pohjasta ja pumppaa sen lämmönvaihtokierukan läpi keittimen yläosaan. Kierrätyksessä pumpun asetus vastaa painetta vastaan pumpattaessa pumppausnopeutta 2,5 l/min. Käytännössä vastapaineen puuttuessa pumppausnopeus on suurempi, ehkä n. 4 l/min. Viiden minuutin tasausajan jälkeen suoritettiin lämpötilan nosto 14 minuutissa keittolämpötilaan 170 °C. Lipeänäytteet otettiin kierrossa olevalta näytteenottomelta noston alusta, keiton alkupuolelta ja juuri ennen keiton lopetusta.

Nosto-ohjelmassa tavoitteena oli nostaa keskilämpötila lineaarisesti keittolämpötilaan ilman, että lämpötila ylittää tavoitelämpötilaa. Tähän pyrittiin säätämällä kiertoa lämmittävän vesivaipan lämpötilan nosto lineaariseksi siten, että noston loppuvaiheessa se nousee hieman ylläpitolämpötilaa korkeammaksi ja laskee sitten nopeasti lähelle ylläpitolämpötilaa, kun keittolipeän keskilämpötila lähestyy tavoitelämpötilaa 170 °C.

#### 8.3.4.4 Keiton lopetus

Keitto lopetettiin jäädyttämällä keitin kierron ollessa päällä n. 155 °C:ksi ja syрjättämällä keittoliuos 80 °C:lla vedellä. Loppusyрjäytyksen nopeus oli 1 l/min ja syрjäytysliuoksen määrä oli n. 22 l. Kuumalipeäsyрjäytyksistä poiketen loppusyрjäytys tehtiin ylhäältä alas. Loppusyрjäytyksessä syntynyt uusi kuumamustalipeä (EA 21 g/l) oli teholliseltaan alkalisuudeltaan lähes käytetyn kuumamustalipeän (EA 23,5 g/l) tasoa. Näin ollen valkolipeäannostusta aavistuksen lisäämällä (esimerkiksi lämminmustalipeäsyрjäytykseen) olisi mustalipeitä voitu hyvin kierrättää seuraaviin keittoihin.



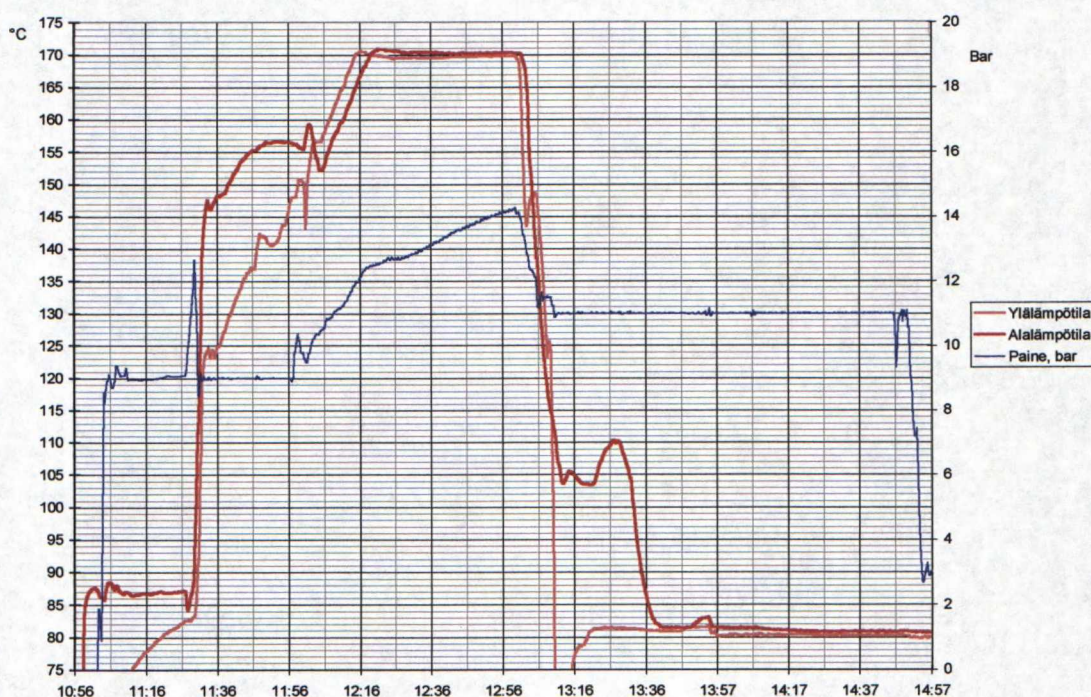
Loppusyrjäytyksen jälkeen suoritettiin keitinpesua tunnin aikana 100 litralla kuumaa vettä, minkä jälkeen massa otettiin ulos keittimestä, hajotettiin, lingottiin ja homogenoitiin. (Myöhemmissä keittokokeissa suoritettiin keitinpesua keittimessä yön yli erittäin alhaisella vesivirtauksella.)

#### 8.3.4.5 H-tekijän laskentatapa SuperBatch-keitoissa

H-tekijöiden laskenta aloitettiin keittosarjan keitoissa vasta valkolipeäannostuksen jälkeen. Perinteisestä laboratoriokeitosta poikkeava H-tekijöiden laskentatapa perustuu siihen, että vasta valkolipeän annostuksen jälkeen delignifioituminen pääsee täyteen vauhtiinsa. Kuitenkin on selvää, että keittoreaktioita tapahtuu myös kuumamustalipeäsyrräytyksen ja erityisesti valkolipeäsyrräytyksen aikana, joten perinteiseen laboratoriokeittoon nähden parempaan vertailtavuuteen voitaisiin päästä aloittamalla H-tekijälaskennan heti lämminlipeätäytön alusta. Keittimen ylä- ja ala-H tekijöiden keskiarvona lasketut H-tekijät olivat 860 - 880. Jos H-tekijää olisi laskettu imeytyksen alusta olisi H-tekijöitä ollut keskimäärin noin 920, joten kovin suurta merkitystä ei alkusyrjäytysvaiheiden H-tekijöiden poisjätöllä ole.

#### 8.3.4.6 Keiton lämpötila- ja painekäyrä

Kuvassa 24 on esitetty keiton 11 lämpötila- ja painekäyrä. Keitossa 11 ei ollut höyrytystä. Imeytys- ja kuumamustalipeäsyrräytyksen paine oli 9 baaria. Kuvasta näkyy paineen poikkeama tavoitellusta kuumamustalipeätäytön alussa kiinni jääneen käsi-venttiilin takia. Paine nousee kuumamustalipeäsyrräytyksen jälkeisessä nostossa vesihöyrynpaineen kasvun takia. Kuvasta näkyy myös nostovaiheen aloitus klo 12:00, tällöin lipeän kulkusuunnaksi vaihdettiin ylhäältä alas, kulkusuunnan vaihto näkyy alalämpötilan nousuna ylälämpötilaa korkeammaksi - keittimeen tuleva liuoshan on keittimestä poistuvaa liuosta kuumempi. Keiton jälkeen seuraa nopea jäähdytys ja lähes kaksi tuntia kestävä keitinpesu, mikä näkyy korkeana paineena.



**Kuva 24.** Keitto nro. 11 lämpötila- ja painekäyrä.



### 8.3.5 Keittotulokset ja niiden arviointi

Syrjäyttävien ja syrjäytyneiden mustalipeiden tehollisen alkalin väkevyydet määritettiin titraamalla lipeitä laimennettuina vetykloridilla pH-lukuun 11. Hajotus, linkous ja homogenointi tehtiin kahdessa likimain yhtä suuressa erässä. Homogenoidusta massasta määritettiin sitten kokonaissaanto. Homogenoiduista massoista otettiin myöhemmin n. 10 % lajitteluun, jolloin saatiin tikkupitoisuus ja lajiteltu saanto. Lajittelusta massasta tehtiin kappaluku. Keittotekijät ja -tulokset on koottu taulukkoon 6.

Imeytystapojen vaihtelulla ei ollut juurikaan merkitystä keittotuloksiin. Ainoa silmiinpistävä ero oli heikoimman imeytyksen, eli alhaisen imeytyspaineen ja ilman höyrytystä tehdyn keiton hieman muita keittoja korkeampi rejektin määrä. Kenties 9 baarin imeytyspaine on niin korkea, ettei höyrytyksellä todellakaan ole puolen tunnin alle 100 asteen imeytystä käytettäessä enää todellista merkitystä tutkitussa SuperBatch-keittotavassa. 9 baarin paineessahan ilma puristuu kymmenesosaan alkuperäisestä tilavuudestaan ja liukeneekin merkittävässä määrin imeytysliuokseen. Todennäköisesti keitto korkealla neste-puusuhteella ja alkalisuudella vielä tasoitti imeytyksensä mahdollisesti esiintyneitä eroja.

**Taulukko 6.** SuperBatch keittosarjan keittotekijät ja tulokset keitoista

SuperBatch-koepisteet/ keitonro	Koe 1 / K 8	Koe 2 / K 9	Koe 3 / K 10	Koe 4 / K 11
Keittopäivä	5.7.1999	6.7.1999	8.7.1999	9.7.1999
Höyrytysaika (min)	ei höyr.	10	20	ei höyr.
Höyrytyslämpötila (°C)	ei höyr.	110	110	ei höyr.
LML-syrj./imeytyksen paine (bar)	2	9	9	9
Tulevan LML:n lämpötila (°C)	90	81	81	90
IML-EA <sub>pH=11,0</sub> (g/l)	10	10	10	10
IML-ylimäärä (l)	2,5	2,5	2,5	2,5
Täyttö- + imeytysaika (min)	30	30	30	30
KML/VL-syrj.paine (bar)	5	9	9	9
KML:n/VL:n tulolämpötila (°C)	156	156	156	156
VL-annos tehol. alkalina puusta	17,0 %	17,0 %	17,0 %	17,0 %
VL:n Sulfiditeetti	38 %	38 %	38 %	38 %
Kokonaisalkaliannos, EA/puu	29,6 %	29,6 %	29,6 %	29,6 %
Kuumalipeäsyry. yhteisaika (min)	20	20	20	20
Nostoaika: 154 -> 170 °C (min)	14	14	14	14
H-tekijöiden keskiarvo	880	880	880	860
Loppunäytteen EA <sub>pH=11,0</sub> (g/l)	24,2	23,6	22,3	22,8
Keiton saanto	46,7 %	46,2 %	46,9 %	46,7 %
Rejekti	0,9 %	0,4 %	0,4 %	0,4 %
Lajiteltu saanto	45,8 %	45,8 %	46,5 %	46,3 %
Kappaluku lajitellusta massasta	25,2	23,7	26,1	26,1
Poikkeamat keitoissa	VL-täytön jälkeen osa liuoksesta C-säiliöön, mistä takaisin keittimeen.	Höyrytys rikkonainen, KML-syrj. alussa paine nousi hetkeksi 10 baariin	KML-syrj. alussa VK-15 1,5 min kiinni -> paine nousi hetkeksi 10,4 baariin.	KML-syrj. alussa VK-15 kiinni -> paine nousi hetkeksi 12,7 baariin

Taulukon tuloksista voidaan tehdä vielä seuraavanlainen päätelmä: keitoissa 8 ja 9 on alkaliannostus ollut jostain syystä keittoja 10 ja 11 korkeampi, mikä on johtanut alempiin lajiteltuihin kappalukuihin, keskimäärin alempiin saantoihin ja korkeampiin loppuväkevyyksiin kuin keitoissa 10 ja 11. Keitto 8 erottuu kuitenkin keitosta 9 si-



ten, että korkeammasta loppuväkevyydestä huolimatta saanto, rejekti ja kappaluku ovat korkeammat kuin keitossa 9. Tätä voidaan selittää huonommalla imeytymisellä, eli keittoneste ei ole päässyt heti keiton alussa kosketuksiin koko puuaineksen kanssa, jolloin aktiivista kemikaalia on kulunut vähemmän ja kokonaissaanto sekä kappaluku ovat jääneet korkeammiksi hakkeiden sisäosien vähäisemmän keittymisen takia.

### 8.3.6 Keittotulosten hajonta

Mahdollinen ero kemikaaliannostuksissa on tulkittavissa keittotavan hajonnaksi uudella keittimeillä, sen sijaan imeytysolojen vaihtelujen aiheuttamia eroja ei tietenkään voi kutsua keittimen hajonnaksi. Keittojen 9, 10 ja 11 välisiä eroja ei voida oikein selittää imeytysolojen vaihteluilla, joten näistä keitoista voidaan laskea tämän koesarjan keittotulosten hajonnat. Näihin hajontalukuihin on kuitenkin syytä suhtautua melko kriittisesti, sillä kolmesta koepisteestä saatuja arvoja ei voitane vielä pitää tilastollisesti erityisen luotettavina. Tämän koesarjan keittojen 9 - 11 hajonnoiksi tuli taulukon 6 arvoista laskettuna kappaluvulle 1,4 yksikköä, rejektille ei tullut hajontaa olenkaan ja saannon hajonnaksi tuli 0,4 prosenttiyksikköä. Hajonnat olivat suurehkoja, mihin vaikuttaa varmasti keiton monimutkaisuus sisäänajokeittona sekä lajittelun ylipaksun jakeen hakkeen käyttö (10 %) akseptijakeen seassa.

Hajontaa pystytään pienentämään lisäämällä erityisesti kuumamustalipeän annostelutarkkuutta ja hiomalla keiton suoritustekniikkaa toistettavammaksi. Annostelutarkkuutta pystytään lisäämään kalibroimalla annosteluun käytetyt säiliöt annosteltavalla lipeällä ja syrjäyttämällä lipeä mahdollisimman lyhyttä linjaa pitkin esimerkiksi vaa'alle. Myös virtausmittarin käyttöön otolla pystyttäisiin parantamaan syrjäytysten toistettavuutta. Keiton teossa luotettavuutta edistää hyvät keitto-ohjeet ja hyvä käyttötuntuma keittimeen, mikä saavutetaan ajan kanssa. Erityisesti selkeän vaihekohtaisen ohjeistuksen avulla pystytään myös parantamaan toistettavuutta.

### 8.3.7 Syrjäytystehokkuudet laboratoriokeitoissa

Syrjäytystehokkuuksia voidaan tarkastella mm. lämpötilan tai liuenneiden aineiden, kuten hydroksyyli-ionien (mitataan tehollisena alkalina) syrjäytymisenä. Laboratoriokeiton kannalta liuenneiden aineiden syrjäytystehokkuus on lämpötilansyrjäytymistä oleellisempi. Jos syrjäytystehokkuus ei ole riittävä, ei teollisia syrjäytyksiä voida simuloida laboratoriokeittimen syrjäytyksillä, vaan joudutaan käyttämään vajautus - uudelleentäyttökäytäntöä. Toisaalta vajautus - uudelleentäyttökäytäntö voi usein olla perusteltu tehdassyrjäytysten jäljittelymetodi, vaikka syrjäytystehokkuus olisi suhteellisen hyväkin.

Syrjäytystehokkuuden voidaan ajatella olevan parempi, jos tiheämpi neste on syrjäytyksessä syrjäytysvyöhykkeen alapuolella. Kuumamustalipeä- ja valkolipeäsyryäyksissä lipeiden tiheydet ovatkin huoneenlämpöisinä syrjäytyvien lämmin- ja kuumamustalipeiden tiheyksiä alemmat. Tiheyseroa tosin pienentää erityisesti kuumamustalipeäsyryäytyksessä syrjäyttävän lipeän korkeampi lämpötila. Loppusyrjäytyksessä tilanne on päinvastainen, eli syrjäytys tehdään ylhäältä alas, syrjäyttävän veden tiheys mustalipeää selvästi alempi, mutta vesi tulee keittimeen toisaalta paljon mustalipeää kylmempänä.

Sekä kuumamusta- että valkolipeäsyryäytyksessä syrjäytyneiden lipeiden teholliset alkalisuudet olivat noin 4,5 g/l. Tästä voitaneen päätellä, ettei valkolipeäsyryäytyksessä syötettyä valkolipeän ja kuumamustalipeän seosta (kokonaismäärä 11,65 litraa ja vä-



kevyys n. 90 g/l) ole kulkeutunut ainakaan suuremmassa määrin syrjäytyneen kuumamustalipeän joukkoon esimerkiksi hakekorin ja keittimen reunan välistä.

Loppusyrjäytyksessä syrjäytystehokkuus oli melko hyvä, sillä suuresta (22 litraa) syrjäyttävän veden määrästä huolimatta syrjäytyneestä liuoksesta mitattu väkevyys oli keskimäärin vain n. 2 g/l alempi kuin keiton lopetusnäytteen väkevyys (21 g/l vs. 23 g/l). Keitinpesussa syrjäytyneen ensimmäisen 25 litran neste-erästä mitattiin myös tehollinen alkalisuus, minkä melko alhainen arvo, 4 g/l, viittaa osaltaan loppusyrjäytyksen syrjäytystehokkuuden olleen melko hyvä. Jos syrjäytyneiden tehollisten alkalien määrät voitaisiin olettaa olevan keskenään summattavia ja jos alkalien syrjäytymisen kuvastaisi keittonesteen syrjäytymistä yleisesti, voitaisiin sanoa, että loppusyrjäytyksessä syrjäytyneen 22 litran nesteeseen olisi sekoittunut 2 - 3 litraa vettä ja että sitä seuraavan 25 litran syrjäytyksen aikana keittimestä poistuisi vielä 4 - 5 litraa keiton lopussa olevaa keittonestettä.

### *8.3.8 Laitteiston käytettävyys sisäänajokeitoissa*

SuperBatch-keittojen keittosarja osoitti ensinnäkin, että keitin toimii hyvin SuperBatch-keittojen simuloinnissa. Näin ollen on selvää, että se toimii myös yksinkertaisemmassa perinteisen eräkeiton jäljittelyssä, etenkin jos ei ole tarvetta erityisen alhaisiin neste-puusuhteisiin.

Erityisen hyvin toimiviksi osoittautuivat vaipan lämmönsäätöautomaatiikka nostoissa ja lämmön pidossa. Myös keittokierron ja syrjäytysten aikana vaipan lämmönvaihtokierukassa kulkeva lipeä saavutti hyvin lämpötilat, jotka olivat lähellä vaipan lämpötilaa. Esimerkiksi kuumissa lipeäsyrytyksissä sisään nopeudella 1 l/min tuleva, noin 24 asteinen lipeä lämpeni lämmönvaihtokierukassa 157,4 asteeseen vaipan lämpötilan ollessa 159,0 astetta.

Keittosarjan esikoekeitoissa ilmeni, että laitoksen muusta höyrynkulutuksesta ja höyrykattilan säädöistä riippuen keittimen käytössä oli ajoittain riittämätön höyrynpaine. Tämän takia syrjäytyksissä käytettiin riittävän lämmönsaannin varmistamiseksi kuumavesiakkua vaipan lämmityksen apuna. Kuumavesiakun käytössä kuumavesiakusta otetaan käsiventtiileitä raottamalla nestettä vaipan kierto, joten akkua käytettäessä lämmönsäätö vaatii periaatteessa jatkuvaa seuranta. Vaipan lämmönsäätöautomaatiikka piti mitatun lämpötilan niin lähellä haluttua, että lämmityksen seurannassa voitiin käyttää ylä- ja alalämpötilahälytyksiä ilmoittamaan, jos lämpötila poikkesi yli asteen tavoitelämpötilasta. Näin kuumavesiakun käytöstä huolimatta ei syrjäytysvaiheissa syntynyt mitään keittotuloksiin vaikuttavia poikkeamia. Kuumavesiakun lämmönluovutuskyky, eli akun koko ja maksimilämpötila, oli tämän koesarjan tarpeisiin nähden vähintäänkin riittävä.

Syrjäytysventtiili toimi lipeäsyrytyksissä hyvin luotettavasti. Paine vaihteli syrjäytysten aikana erittäin vähän, suurimman osan aikaa mittauksen ja asetusarvon ero oli alle 0,05 baaria. Syrjäytysventtiilillä säädetään keittimen painetta lipeäsyrytyksissä siten, että paineen noustessa yli tavoitearvon, keittimestä liuoksen ulos päästävä syrjäytysventtiili avautuu ja vastaavasti paineen laskiessa alle tavoitearvon venttiili sulkeutuu. Näin ollen säätö voi toimia hyvin vain silloin, kun keittimeen tulee koko ajan uutta nestettä, joten juuri ennen syrjäytysten loppua venttiili suljettiin ja mahdollinen hienosäätö tehtiin käsin.



Lipeänäytteenottimen toiminta osoittautui hyväksi, nopeastikin otettaessa näyte jäähtyi riittävästi. 50 millilitran huuhtelulipeämäärä osoittautui riittäväksi huuhtelemaan näytteenotin kokonaan vanhasta lipeästä. Myös syrjäytyneen lipeän jäähdyttävän lamellitoimisen lipeäjäähdytin teho osoittautui erittäin hyväksi, tosin pienenä haittana oli lipeän jääminen putkistoon, joten edellisten vaiheiden lipeät sekoittuivat seuraavien syrjäytysvaiheiden lipeiden kanssa.

Mäntäpumput toimivat luotettavasti. Tietyissä nopeissa lämpötilanmuutoksissa esiintyi kuitenkin jonkin verran vuotoa P-K2:n männästä. P-K2:n maksimipumppausnopeutta ei voitu käyttää painesykäyksien aiheuttaman varoventtiilien vuotoriskin takia.

Keittimen pinnan säätö osoittautui käytännössä hieman hankalaksi. Ensinnäkin pinnanmittausputken nollaukseen tarvittavan typen syöttö tuntui hieman epämääräiseltä, eli syötetyn typen määrää ei pystynyt kontrolloimaan. Toisaalta todellinen pinnan korkeus vaihteli ilman lisäsäätöä vakiopaineisissa syrjäytyksissä melko paljon. Vakiopaineen pidollahan on tarkoitus pitää lähinnä pinta vakiona. Kuitenkin syrjäytyksissä, joissa lämpötila nousee, laajenee vakiopaineessa oleva kaasu lämpölaajenemisen ja vesihöyryn muodostumisen takia. Koska keittimen pinnanmittausalueen yläpuolisen kaasutilan koko, noin 7,7 litraa, on huomattavan suuri pinnanmittausalueen kokoon, noin 1,4 litraa, nähden, esiintyy pienehköilläkin kaasutilan suhteellisilla muutoksilla suurta pinnankorkeuden vaihtelua. Ehkä SuperBatch-keittotavan syrjäytyksissä olisi syytä säätää pinta siten, että pinta olisi koko syrjäytyksen ajan alimmassa mahdollisessa kohdassaan, kun syrjäytys tehdään alhaalta ylös, eli siten että neste pinta pidetään juuri nesteen poistokohdalla eli syrjäytyvän nesteen mukana tulisi myös hieman laajentuvaa kaasua.

Automaatiojärjestelmä toimi keittojen aikana hyvin luotettavasti. Yleisimpiä keittotapoja varten olisi hyvä olla yksi näyttösivu, mikä sisältäisi kaiken tarvittavan tiedon. Myös tiettyjä tarkasteluikkunoita, kuten noston ikkunoita, tulisi voida tarkastella, ilman, että prosessin ohjauksen kannalta oleellisia tietoja peittyisi tarkasteluikkunan alle. Yksi harmia aiheuttanut asia säätöjärjestelmässä oli tiettyjen vaiheiden melko hidas suoritus säätöjärjestelmän avulla, tämän takia ei esimerkiksi valkolipeäpumppua pysäytetty säätöjärjestelmän käyttöliittymästä, vaan turvakytkimestään. Prosessitietojen pysyvä tallennus onnistui sovellusaseman Windows-tiedonsiirron avulla hyvin. Näiden tallennettujen tietojen käsittely tiedontallennuksen aikana aiheutti tietojen häviämisen riskin, joten keiton aikaiset trendien seurannat tehtiin automaatiojärjestelmän sovellusaseman sijasta sen käyttöliittymästä.

Koekeitoissa itse keittojen teon osuus koko työmäärästä oli alle puolet. Viiden kilon hakepussien teko ja käsittely, keittolipeiden käsittely ja noin 2,5 kilon massamäärän käsittely veivät keittoihin nähden noin kaksinkertaisen ajan. Keittimen mittakaava tuntuu vaativan osalla laitteita hieman kehitystyötä. Esimerkiksi massan hajotus, linkous ja homogenointi jouduttiin tekemään kahdessa erässä.

Koekeitot osoittivat, että keiton tarkka etukäteissuunnittelu ja yksityiskohtainen työjärjestyksen suunnittelu on erittäin tarpeellista. Taulukossa 6 esiintyneistä viidestä huomatuista keittotulokseen mahdollisesti vaikuttaneista poikkeamista kolme johtui periaatteesta siitä, ettei keitto-ohjeessa ollut mitään mainintaa syrjäytyslinjan sulkeutumisen varmistavan käsiventtiilin avaamisesta. Yhdessä keitossa on niin paljon tark-



kaittavia ja suoritettavia asioita, ettei monikaan pysty muistamaan kaikkia asioita ilman selkeäksi tehtyä, kronologisesti etenevää ohjeistusta. Esimerkiksi SuperBatch-keiton lopetuksesta on tehtävä jo etukäteen suunnitelma loppunäytteenoton, jäähdytyksen aloituksen ja loppusyrjäytyksen pumppauksen sekä lipeäulosoton aloituksen suoritusjärjestyksestä ja -ajankohdasta.

## 9 EHDOTUKSET JATKOKEHITYSKOhteiksi

Yleisesti ottaen jatkokehittely pitäisi tehdä tarpeiden mukaan, näin muutokset tulisivat testatuksi välittömästi. Keittämö ja sen automaatiojärjestelmä on pyritty tekemään mahdollisimman sopiviksi muutoksille. Keittämöä muutettaessa olisi syytä varmistaa, että muutoksista tulee asianmukainen dokumentaatio, eli kirjallinen tieto siitä, mitä on muutettu ja miksi.

Pääosa keittämön linjoista on tehty 12 mm:n putkesta käyttäen Svagelock-liittimiä haaroitus- ja useina mutkakappaleina, joten linjamuutokset vaativat vain muutaman tunnin työn ja liittimien laadukkuudesta johtuen uudelleenliittäminen onnistuu vanhoja liittimiä käyttäen suhteellisen helposti. Putkien eristykseen käytetty *Armaflex* on helposti irrotettavissa ja se voidaan kiinnittää helposti uudelleen esimerkiksi teip-  
paamalla (alkuperäinen kiinnitys liimaamalla).

Vastaavasti ohjausjärjestelmän ja näyttöjen muutoksia voidaan tehdä joko itse muuttamalla säätölohkoja tai näyttökuvia tai halutut muutokset voidaan teettää esimerkiksi Honeywell'illä. Järjestelmän hälytysarvot, viritys- sekä muut parametrit ovat helposti muunneltavissa joko suoraan käyttöliittymästä tai sitten sovellusasemalta lohkojen parametreja muuttamalla.

### 9.1 Laitteiston kehitys

#### 9.1.1 Paineilmatoiminen kemikaalipumppu

Paineilmatoimisen kemikaalipumpun paineilman katkaisuventtiilin tilalla pitäisi olla palloventtiili, jolloin pumppausnopeuden säätö olisi helppoa ja avaaminen tai sulkeminen onnistuisi helpommin yhdellä kädellä. Pumpun imulinjan loppuosa on suora 12 mm putki. Putken avulla onnistuu esimerkiksi 30 litran lipeäkanistereiden tyhjennys helposti. Suurempien lipeämääriä saavista tms. pumpattaessa putken päällä oli taipumus imeytyä kohtisuoraan saavin reunaan, jolloin pumppaus keskeytyi. Imeytymisen voitaisiin todennäköisesti ehkäistä sahaamalla putken pää vinoksi tai tekemällä siihen pieniä koloja.

#### 9.1.2 Lipeälinjat ja -säiliöt

Uusi laboratoriokeittämö on useamman paineellisen lipeäsäiliön takia melko laaja rakennelma, jossa lipeäsäiliöt ja keitin on yhdistetty yhdellä yhteisellä linjalla keittimeen ja toisella yhteisellä linjalla ulos keittimestä. Lisäksi säiliöt on yhdistetty yhteiseen kaasaus- ja typpilinjaan. Kaikki säiliöitä yhteisistä linjoista erottavat venttiilit ovat käsiventtiileitä. Käytännössä tämä tarkoittaa, että monivaiheinen syrjäytyskeitto sisältää useita venttiilien asentojen tarkisteluja eri puolilla keittämöä. Keittotyötä helpottaisi, jos keiton kriittisissä vaiheissa voitaisiin kaikki keiton aikaiset työt tehdä lattiatasolta itse keittimen vierestä. Tämä olisi mahdollista, jos säiliöiltä tuotaisiin lipeät keittimelle yhden runkoputken sijasta useampaa putkea pitkin. Keiton töiden



helpottamiseksi myös säätöjärjestelmän ohjaustietokone olisi hyvä tuoda ulos lasikoppista keittimen välittömään läheisyyteen.

Lipeäsyрjäytyksissä syрjäytyneet lipeät ajettiin lamellitoimisen lipeäjäähdyttimen läpi paineettomiin astioihin. Lipeää tuntui hieman jäävän putkistoon tai lipeäjäähdyttiimeen, joten edellisten vaiheiden lipeät sekoittuivat seuraavien syрjäytysvaiheiden lipeiden kanssa. Tämä haitta voitaisiin poistaa muuttamalla syрjäytysventtiilin jälkeistä lipeälinjaa suoraviivaisemmaksi ja lisäämällä linjan juureen typensyöttömahdollisuus, jolloin linjaan tai jäähdyttiimeen panttautuvan lipeän määrä jäisi hyvin pieneksi.

Suoritetussa SuperBatch-keittoa jäljittelevässä koesarjassa säiliöt A ja B (tilavuus 26 l/säiliö) riittivät juuri ja juuri, kaasausventtiilin ollessa auki, lämmin- ja kuumamustalipeän syöttöön. Nestetäytöt olivat n. 90 - 95 % säiliöiden koko tilavuudesta joten, jos kaasausventtiilit olisivat olleet kiinni, olisi säiliöihin muodostunut nopeasti voimakas alipaine. 16 litran C- ja D-säiliöt olivat aivan liian pieniä keittosarjan tarpeisiin, toisin tarpeen vaatiessa niitäkin olisi voitu myös käyttää lämmin- tai kuumamustalipeän syöttöön yhdistämällä säiliöt ylhäältä ja alhaalta yhdeksi 32 litran säiliöksi. Tämä kuitenkin tuntui huuhtelujen ja pinnan seurannan kannalta hieman hankalalta. A- ja B-säiliöt ovat tällä hetkellä uusittavina, uusinnan yhteydessä uudet säiliöt voitaisiin tehdä n. 50 litran kokoisiksi.

### *9.1.3 Massankäsittelylinja*

Uuden keittämön kokoluokan kasvu vanhoihin keittolaitteisiin nähden lisää luonnollisesti paineita laboratoriokeittoon liittyvien muiden laboratoriolaitteiden kehitykseen. Nykyisellä laitteistolla esimerkiksi 2,5 kg:n massan hajotus ja linkous joudutaan tekemään vähintään kahdessa erässä. Massan pesua on tehty mm. keittimessä ja lingossa.

Massan käsittelyä voitaisiin tehostaa huomattavasti esimerkiksi riittävän suurella siirrettävällä viirapohjaisella sakeutuslaatikolla, missä olisi riittävä nesteen varastointimahdollisuus, nesteen kierrätyspumppu ja imu. Näin massa voitaisiin hajottaa ja pestä sakeutuslaatikon avulla, kierrätyksen varmistaessa, ettei hienoaainetta pääse häviämään liikaa. Sakeutettu massa voitaisiin todennäköisesti lingota yhdessä erässä käyttämällä esimerkiksi ylhäältä suljettavia linkopusseja. Viiralaatikkoa ja sen nesteenkierrätysmahdollisuutta voitaisiin käyttää hyväksi myös lajittelussa nykyisen linkosakeutuksen sijasta.

## **9.2 Syрjäytystehokkuuksien selvitys**

Syрjäytystehokkuuksia on arvioitu mm. keittokoesarjassa syрjäytyneiden lipeiden alkalisuuksia arvioimalla, kuitenkin syрjäytystehokkuuksien systemaattinen testaus jäi tekemättä. Lipeän syрjäytystehokkuuden testaamisessa pitäisi saada selville itse syрjäytystehokkuuksien lisäksi syрjäytystehokkuuksien hajonnat. Lisäksi pitäisi selvittää, onko esimerkiksi SuperBatch-keitto-sarjassa esiintyneen keittimen vaipan ja sisällön lämpötilaerolla vaikutusta syрjäytystehokkuuteen tai sen hajontaan.

Myös hakkeiden pakkautumisen ja kovuuden vaikutus syрjäytystehokkuuteen tulisi tarkistaa. Löysästi pakatut hakkeet voivat sijaita keittokorissa epähomogeenisesti, mikä voi periaatteessa heikentää syрjäytystehokkuutta (kts 2.3.2). Pehmenneet, pitkälle delignifioidut hakkeet voivat taas muodostaa niin tiiviin kerroksen hakekorin pohjalle, että syрjäyttävä (ja myös kiertävä) lipeä voi mahdollisesti kulkea osittain



keittimen reunojen ja hakekorin välistä ohittaen hakkeet. Tämä näkyisi syrjäytystestissä syrjäyttävän lipeän hyvin nopeana kulkeutumisena syrjäytyvän lipeän joukkoon.

Oletuksena vesivaipallisen syrjäytyskeittimen suunnittelussa ja käyttöönotossa on ollut, että syrjäytystehokkuudet ovat niin vakio- kuin muuttuvalämpöisissä syrjäytysissä vakiot. Jos kuitenkin osoittautuu, että esimerkiksi vakiolämpöisissä syrjäytysissä syrjäytystehokkuus olisi vakio ja syrjäytysjäähdytyksissä tai lämmityksissä syrjäytystehokkuus vaihtelisi merkittävästi, niin SuperBatch-laboratoriokeitoissa kannattaisi laboratoriokeittojen toistettavuuden varmistamiseksi tehdä syrjäytykset ja lämmitykset erikseen. Jos taas rinnakkaisten syrjäytystestien syrjäytystehokkuuksissa esiintyy huomattavaa vaihtelua myös vakiolämpöisissä syrjäytysissä, kannattaa miettiä laboratoriosyrjäytysten korvaamista vajautuksen ja täytön yhdistelmällä, mikä on lähes yhtä helppo nesteenvaihtotapa kuin aito syrjäytys.

Syrjäytystehokkuutta hakkeilla tutkittaessa on hankalaa arvioida, mikä merkitys on hakkeiden sitomalla nesteellä. Jos syrjäytystehokkuuksia arvioidaan alkalinen syrjäytymisellä, on otettava tietenkin myös huomioon hakkeiden ja alkalien väliset reaktiot. Varsinaisten keittoreaktioiden lisäksi puussa olevat heikot hapot sitovat alkalia vapauttaen sitä vasta, kun nesteen ympäröivän liuoksen alkalisuus laskee riittävän alas.

### **9.3 Keittämön automaation parannuskohteet**

Käytetty automaatiojärjestelmän toimivuus ja käytön yksinkertaisuus ovat olleet erinomaisia. Järjestelmää on mahdollista päivittää aina tarpeen mukaan, tämä vaatii tosin järjestelmän ohjelmoinnin opettelua. Seuraavat päivityskohteet ovat kuumaveisiakun lämmittimen turvakytkimen tunnistus järjestelmässä ja A- ja B-säiliöihin tehtävien muutosten päivitys järjestelmään.

#### *9.3.1 Automaattinen tallennus säätöparametreille*

Tiedonsiirrossa käytössä olevien mittaustietojen, säätöarvojen (venttiilien asennot jne.) ja H-tekijän tiedonsiirtoa hoitavan tiedonsiirtolohkon lisäksi voitaisiin tehdä toinenkin tiedonsiirtolohko, jota käyttämällä saataisiin kaikki siirtohetkellä käytetyt parametriarvot. Tämä voitaisiin ajaa joko silloin tällöin tai rutiinin omaisesti ennen jokaista keittoa. Näin saataisiin helposti talteen vanhat säätöarvot. Liitteessä 9 on parametriarvot vuoden 1999 lopusta.

#### *9.3.2 Käytettävyyden kannalta tehtävät parannuskohteet*

Keittimen näyttökuvat ovat suunniteltu siten, että niistä pystyy hahmottamaan prosessin ja että kriittiset lukuarvot näkyvät selvästi näytössä. Toisaalta näytöille ei ole jäänyt tilaa usein tarvittaville tarkasteluikkunoille. Esimerkiksi nostorampin tarkasteluikkuna peittää näytöstä huomattavan osan. Näyttökuvia tulisikin järjestellä siten, että tarkasteluikkunoita voitaisiin pitää näytössä ilman tarpeellisten mittaustietojen peittymistä. Vastaavasti tarkasteluikkunoita tulisi pienentää, esim. lämpötilan säätörampin tarkasteluikkunaa voidaan tiivistää huomattavasti (myös kerralla näkyvien rampin määrä voidaan pienentää kahdeksasta kolmeen). Kenties eri keittotapoja varten kannattaa ohjelmoida omat näytöt. Tiettyjä työvaiheita, kuten "potkua" varten voitaisiin piirtää oma näyttökuva.

Nopeaa reagointia vaativissa tilanteissa järjestelmän vaatimat kuittausnäpäytykset hidastavat toimintaa niin paljon, että esimerkiksi valkolipeäpumppauksen pysäytys on



parempi tehdä pumpun turvakytkimen avulla, tähän vaikuttaa myös tietokoneen sijainti lasikopissa. Vastaavasti taajuusmuuntajakäyttöisillä pumppujen käyttöliittymää tulisi muuttaa siten, että pumput käynnistyisivät taajuuslukeman syötöllä (aivan kuten venttiilitkin avautuvat).

#### **9.4 Keittosimulaatiomallien kehitys**

Vaikka keittosimulaatioissa tulisi periaatteessa jäljitellä tehdaskeittoja mahdollisimman tarkasti, on laboratoriokeittoja suunniteltaessa otettava huomioon laitteiston asettamat rajoitukset. Lisäksi on vältettävä sellaisten keittotekijöiden jäljittelyä, joilla ei ole juurikaan merkitystä keittotulokseen, mutta jotka lisäävät keitossa joko työ-määrää tai tulosten hajontaa.

Keittosimulaatiot kannattaa pitää mahdollisimman yksinkertaisina myös sen takia, että näin keittojen suorituksen kunnollinen dokumentointi pysyy yksinkertaisena. Ohessa on hahmotelma keittosimulaatiomallien kehityksen pohjaksi ja joitain keittosimulaatioiden kehitykseen liittyviä näkökohtia.

##### *9.4.1 Keittokohtaiset ohjeet*

Hyvät työohjeet ovat lähestulkoon onnistuneiden keittokokeiden edellytys! Keittomallien kehitykseen kuuluu oleellisesti myös ohjeistuksen luominen eri keittomalleja varten. Ohjeet kannattaa kirjoittaa mahdollisimman selkeästi ja melko tiiviisti siten, että käytetään käsitteitä jotka ovat keiton suorittajalle tuttuja tai jotka selitetään hyvin yleisohjeessa.

##### *9.4.2 Keittolipeät*

Keittosimulaatioiden keittolipeiden valmistuksessa on kolme erilaista vaihtoehtoa. Lipeät voidaan valmistaa edellisillä laboratoriokeitoilla, jolloin voidaan olla varmoja siitä, että simuloitava prosessi näkyy kierrätettävissä lipeissä. Toisaalta voidaan käyttää tehdaslipeitä, mikä on usein yksinkertaisinta. Kolmantena vaihtoehtona on valmistaa tehdaslipeitä vastaavaa lipeää teknisistä liuoksista. Kaikilla lipeiden valmistustavoilla tulisi keiton jälkeiset lipeät analysoida ja keitto-olot suunnitella sellaisiksi, että keittosimulaatioista poistuvat lipeät vastaisivat oleellisilta osin keittoon laitettavia lipeitä, ainakin sopivasti sekoitettuina ja mahdollisesti valkolipeällä vahvistettuina.

##### *9.4.3 Höyrytys*

Hakkeiden höyrytys riippuu simuloitavasta prosessista, eli höyrytetäänkö siinä hakkeita ja jos höyrytetään, niin mikä on höyrytysaika. Keittimeen on mahdollista syöttää suoraan höyrykattilan höyryä. Kattilan höyry on kuitenkin keittimeen syötettäessä tulistunutta (paine kattilassa on n. 12 baaria), joten höyry voi kuivattaa jonkin verran hakkeita. Höyry voidaan syöttää keittimeen jäähdytettynäkin, esimerkiksi liuossäiliön ja keittimen vaipan kautta. Keittimelle voitaisiin rakentaa myös höyrykehitin, minkä avulla saataisiin selville myös keittimeen syötetyn höyryn kokonaismäärä.

##### *9.4.4 Massan käsittely*

Massan käsittely kannattaa vakioda kaikilla keittomalleilla. Keittimessä tulisi joko tehdä ainakin pari pesua, joista ensimmäinen voisi olla tehty kuumalla puskuriliuoksella ja toinen kuumalla ionivaihdetulla vedellä. Keitinpesun jälkeen hakekori voitai-



siin nostaa pois keittimestä ja laittaa yöksi esimerkiksi riittävän korkeaan ionivaihtovedellä täytettyyn kannelliseen saaviin. Massojen jatkokäsittely kannattanee siis lykätä seuraavaan aamuun.

#### 9.4.5 Perinteisen eräkeiton simulointi

Perinteisenä eräkeittona pidetään keittoa, missä koko keittoliipeä laitetaan hakkeiden joukkoon ja keitin lämmitetään keittolämpötilaan, mikä on ollut havupuilla tyypillisesti noin 170 °C. Nostonopeus välillä 80 °C - 170 °C on välillä 1 - 2 °C/min. Lipeitä kierrätetään keittimessä, kunnes H-tekijä- tai keittoaikatavoite saavutetaan, minkä jälkeen keitto lopetetaan puskemalla massa ja lipeä ulos keittimestä.

Uudella keittämöllä perinteinen laboratoriokeitto voitaisiin aloittaa suoraan 80 °C:sta esilämmittällä vaippa 82 °C:ksi ja pumppaamalla keittoliipeät keittimen yläosaan lämmönvaihtokierukan läpi. Pumppauksessa kaasauslinja avataan, jos keitin tulee ylipaineiseksi (höyryttämättömillä hakkeilla kaasauslinja on auki koko täytön ajan). Lähes välittömästi pumppauksen jälkeen suljetaan kaasauslinja, laitetaan venttiilit lipeänkiertoasentoon ylhäältä alas ja käynnistetään lipeäkierto. Sitten aloitetaan lämpötilan nosto vakionostonopeudella. Nostonopeutta ja keittolämpötilaa voidaan vaihdella, peruskeittomalliksi voisi valita esimerkiksi noston nopeudella 1 °C/min keittolämpötilaan 170 °C.

H-tekijätavoite ja alkaliannos määräytyvät kappelukutavoitteen mukaisesti. Noin kaksi minuuttia ennen laskennallista H-tekijätavoitetta otetaan loppunäyte ja suljetaan vaipan höyrylämmitys ja aloitetaan jäähdytys vesijohtovedellä. Parin minuutin jäähdytyksen jälkeen keitin tyhjennetään lipeästä lipeäjäähdyttimen kautta kanisteriin.

#### 9.4.6 Syrjäytyseräkeitto

Syrjäytyseräkeitosta (SuperBatch) on olemassa keitoille 8 - 11 kirjoitettu ohje. Ohjeen avulla pystytään tekemään tämä laboratoriosimuloinnin kannalta varsin monimutkaisen keittotavan simulointi melko hyvin. Kuitenkin tätäkin menetelmää kannattaa pyrkiä yksinkertaistamaan mahdollisimman paljon, jotta menetelmän toistettavuus ja dokumentoitavuus olisi mahdollisimman hyvä. SuperBatch-keitto sisältää lukuisia työvaiheita, minkä takia keitto-ohje joudutaan pitämään sen luettavuuden säilyttämiseksi melko tiiviinä. Tarkempi kuvaus keittimen käytön yksityiskohdista tulee yleisohjeeseen..

#### 9.4.7 Perinteinen vuokeitto (2-astia höyry-nestefaasikeitto)

Vuokeitosta pitäisi pystyä jäljittelemään erityisesti sen alkuvaiheita - imeytysvaiheen alussa nopea paineennosto (korkeapaineikiikki tehtaassa), imeytys korkeassa alkali- väkevyydessä ja korkeassa paineessa, imeytyksen jälkeinen nesteenpoisto ja nopea keittimen lämpötilan nosto vaipalla (potku) ja suoralla höyryllä, minkä jälkeen käytetty imeytysliuos laitetaan takaisin keittimeen.

Imeytysvaiheessa jouduttaneen käyttämään todellista korkeampaa neste - puusuhdetta, jotta saadaan tasainen imeytys, eli jotta hakkeet olisivat imeytyksen aikana kokonaan nestepinnan alapuolella. Vaadittavaa nestepuusuhdetta voidaan alentaa tuomalla paineistuksessa tarvittava tyyppi samaa linjaa pitkin kuin keittoliipeä, näin putkistoon ja ennen kaikkea lämmönvaihtokierukkaan ei jää juurikaan nestepuusuhdetta nostavaa lipeää. Mahdollisimman alhainen imeytysvaiheen nestepuusuhte mahdollistaisi myös saman nesteen käytön kokonaisuudessaan keittovai-



heen nesteenä. Teollisessa vuokeitossa neste-puusuhde voi olla kolmen luokkaa, mihin ei kuitenkaan nestekiertoa käyttävillä laboratoriokeittimillä juurikaan päästä.

Lopun vastavirtaista Hi-heat -vyöhykettä voidaan jäljitellä alkali- ja mustalipeäkon-sentraatioiden suhteen jossain määrin tekemällä aluksi vasavirtasyrjäytystä simuloiva nesteenvaihto muutamalla litralla Hi-heat-liuosta. Vastavirtaista vaihetta simuloidaan edelleen lisäämällä syrjäytyksen jälkeenkin Hi-heat-liuosta keittimeen vakionopeu-della keitinkierron ollessa koko ajan päällä.

#### *9.4.8 Modifioitua vuokeiton simulointi*

Modifioitua vuokeittoa voidaan simuloida pitkälti samoin kuin perinteistä, poikkeuk-sena on lähinnä alkuannostus. Kun perinteisessä koko alkaliannos laitetaan keiton alkuun, niin modifioitussa vuokeitossa kokonaisannoksesta osa (esim. 40 %) laite-taan keiton alkuun ja vastavirtavaiheeseen. Vastavirtavyöhykettä voidaankin simu-loida jatkuvalla alkalinsyötöllä keittimeen. Vastaavasti mustalipeää tulisi valuttaa myös hieman ulos keittimestä. Keiton eri vaiheisiin syötettävien lipeiden väkevyydet tulisi valita siten, että laboratoriokeiton eri ionien ja orgaanisten aineiden määrät vastaisivat mahdollisimman tarkasti toisiaan.

### **9.5 Keittämöllä tehtävä toistettavuuskoesarja**

Tämän työn yhteydessä jäi vielä testaamatta, kuinka suuri on keittojen välinen tai keittokorin sisäinen keittotuloksen hajonta. Hajontaa voidaan arvioida määrittämällä esimerkiksi kappaluvun vaihtelu keittojen välillä tai keittokorin eri osissa. Toistetta-vuuskoesarjalla voitaisiin määrittää keitosta perinteisesti mitattavien ominaisuuksiin keittojen väliset vaihtelut keittotavoittain. Koesarjassa eri keittotapoja voisivat olla perinteinen ja modifioitu eräkeitto sekä perinteinen tai modifioitu vuokeitto.

Keittosarjalla saadaan kuva keittojen toistettavuudesta uudella laboratoriosyrjäytys-keittimellä, opitaan käyttämään laitteistoa, löydetään laitteiston kehittämiskohteet ja puutteet, sekä löydetään menetelmiä eri keittojen simulointeihin. Lisäksi saadaan yksi uusi "kiintopiste" (saanto, kappa, visko ja rejekti) tulevien keittojen suunnitte-luun. Jos eri keittotyyppien alkalikulutukset sekä alku- ja loppukäsittelyt pyritään saamaan keskenään samanlaisiksi, voidaan keittojen onnistuessa tutkia myös tällä keittämöllä ilmeneviä keittotyyppien välisiä eroja.

Jotta keittimestä saatuja tuloksia voitaisiin arvioida tilastolliselta kannalta, olisi hyvä saada onnistuneista rinnakkaisista keitoista luottamusvälit (esim. 95 %:n) tarkastelta-ville keittotuloksille. Vertailtavia rinnakkaisia keittoja pitäisi luottamusvälien saami-seksi olla useita.

Toisaalta mielenkiintoa herättää myös keittojen onnistuminen toisistaan poikkeavissa keittotavoissa. Keittojen lukumäärän rajoittamiseksi joudutaan ehkä valitsemaan, mistä keittotavoista on tyydyttävä esimerkiksi vain rinnakkaisten tai kolmen keiton keskinäiseen vertailuun. Keittotulosten hajonta voitaisiin määrittää perinteisellä labo-ratoriokeittomallilla, koska tämä malli tarjoaa vertailtavuuden muihin laboratio-keittimiin. Lisäksi se on helpoin oppia, joten se toimii hyvin laitteiston opettelussa. Se on luultavasti myös työmäärältään pienin, esimerkiksi keiton aikana keitin ei tar-vitse jatkuvaa säätöä tai operointia. Näin keiton aikana voidaan tehdä myös muita töitä, esimerkiksi valmistella seuraavaa keittoa tai tehdä edellisten keittojen massan-käsittelytöitä.



Jokaisella eri menetelmällä jouduttaneen suorittamaan ainakin yksi harjoituskeitto, jossa haetaan käyttökokemusta sekä mm. sopivia vaiheajoja, joilla keitot voidaan suorittaa toistettavasti. Ajoitus vaikuttaa toistettavuuteen siten, että hyvällä ajoituksella keiton suorittaja voi keskittyä yhteen vaiheeseen kerrallaan ilman turhaa hätäilyä. Näin voidaan jo etukäteen aikatauluttaa koko keitto, mikä kokemusten mukaan lisää keiton onnistumisen todennäköisyyttä. Lisäksi harjoituskeittojen tärkeänä tavoitteena on löytää keitto-ohjeissa mahdollisesti esiintyvät puutteet ja epäselvyydet.

Keittojen aikana olisi syytä merkitä kaikki ne poikkeamat tavoitellusta keiton suorituksesta, joilla voi olla jotain merkitystä keittotuloksiin. Poikkeamien merkittävyys pitää arvioida vasta keiton jälkeen, jolloin päätetään hyväksytäänkö keitto vertailuun vai ei. Koska itse keiton osuus on varsin pieni yhteen keittoon käytettävän työn määrästä, kannattaa selvästi pieleenkin mennyt keitto suorittaa suunnitellulla tavalla loppuun asti jo pelkästään käyttöharjoituksen takia.

## 10 YHTEENVETO UDESTA KEITTÄMÖSTÄ

TKK:n Puunjalostustekniikan osaston uudeksi keittämöksi valittiin syrjäytyskeittämö, koska tämän tyyppin keittämöillä on hyvät mahdollisuudet simuloida eri sellunvalmistusprosesseja. Keittämön ydin on 25 litran hakekorilla varustettu keitin, joka on ympäröity vesivaipalla. Vesivaipassa lämmönvaihtokierukan läpi kiertävän keittoliuoksen lämpötila saavuttaa likimain vesivaipan lämpötilan ja näin keittimen sisällön lämpötila lähestyy vesivaipan lämpötilaa. Lämpötilan säätöä tukee lämmön johtuminen vesivaipasta keittimen reunojen läpi keittimeen. Tällaisen lämpötilansäädön keittimellä on perinteisiin pakkokiertokeittimiin nähden seuraavat edut: Suurempi lämpötilan nostonopeus sekä mahdollisuus hitaisiin nestekierron nopeuksiin ja nestenestesyrjäytyksiin ilman haittaa lämpötilansäädölle. Keittimen vesivaippaa lämmitetään ja jäähdytetään lamellitoimisella lämmönvaihtimella. Nopeita lämpötilan nostoja varten käytössä on myös 220 litran kuumavesiakku, josta voidaan johtaa jopa yli 200 °C:een esilämmitettyä vettä vesivaippaan.

Keitin liitettiin viiteen liuossäiliöön ja yhteen valkolineaan annostelusäiliöön haponkestävillä standardiputkilla. Putkiliitoksissa suosittiin puristusliittimiä niiden mahdollistaman helpon muunneltavuuden takia. Liuossäiliöiden koot vaihtelevat 16 ja 60 litran välillä. Käytännöllisimmäksi osoittautui 60 litran säiliö. Liuossäiliöt ovat paineistettavia umpinaisia säiliötä. Valkolinean annostelusäiliö on sen sijaan ylhäältä avoin, tarkalla mitta-asteikolla varustettu 10 litran säiliö. Lipeä pumpataan siitä mäntätoimisella valkolineapumpulla, jonka pumppausnopeutta säädetään iskunpituutta säätämällä. Keittimen liuoskiertopumppuna toimii mäntäpumppu, jonka pumppausnopeutta säädetään pumppaustaajuuden ja iskunpituuden säädöillä. Tämä liuoskiertopumppu toimii myös annostelupumppuna pumpattaessa keitonesteitä liuossäiliöistä. Lipeän kulkusuunnaksi keittimessä voidaan valita ylhäältä alas tai alhaalta ylös.

Keittämöllä käytettävään Honeywell'in Measurex-ohjausjärjestelmään on koottu kaikki keittämön sähköiset mittaus- ja ohjauslaitteet, eli suurin osa keittämön mittauksista, kaikki automaattiventtiilit, pumput ja sähkövastusten ohjaukset. Ohjausjärjestelmän logiikka on ohjelmoitu lohkoeditorin avulla. Myös tietyt kalibrointivakiot syötetään suoraan lohkoeditoriin. Tässä TKK:n järjestelmässä myös mittautietojen



pysyvä tallennus tehdään lohkoeditorin tiedonsiirtoprotokollaa käyttämällä Excel-ohjelmaan. Tietojen käsittelyä varten luotiin tiedostopohja, joka antaa valmiiksi keittokäyrät siirretyistä tiedoista. Ohjausjärjestelmän avulla on mahdollista luoda automaattisia keittosekvenssejä ja omia prosessin tarkasteluikkunoita. Toistaiseksi on käytetty valmiiksi tehtyjä ikkunoita, diplomityön aikana ainoat ohjelmistomuutokset tehtiin säiliöiden pinnanmittauslogiikkaan, jotta pinnanmittaukset ottavat huomioon säiliöiden muototekijöitä. Muita käyttöönoton yhteydessä tehtyjä muutoksia olivat eri viritys- ja kalibrointiparametrien syötöt järjestelmään.

Käyttöönotossa tehtiin seuraavat tarkastukset: Putkistojen ja säiliöiden pitävyystarastukset vesitäyttöillä, paineastiatarkastusta varten varoventtiilien laukeamistestit, paineastiatarkastus ja lämpötilamittausten muuntimien kalibroinnit. Keittimen toimintaa testattiin sitten koekeitoilla ja sisäänajokeitoina tehtiin mm. neljän SuperBatch-keiton keittosarja, missä tutkittiin imeytyspaineen laskun ja höyrytyksen käyttöönoton merkitystä SuperBatch-keiton keittotulokseen. Referenssikeitossa imeytyspaine oli 9 baaria, kappaluku n. 25 ja rejektin määrä 0,4 %. Imeytyspaineen lasku nosti hieman rejektin määrää. Sen sijaan höyrytyksellä ei ollut vaikutusta mitattuihin massan ominaisuuksiin.

Syrjäytyskeittämöllä pystytään simuloimaan kaikkia teollisuusmittakaavaisia keittotapoja. Jatkossa TKK:n keittämöllä pitäisi kehittää keittomalleja eri keittomenetelmien simulointiin. Lisäksi eri keittomalleilla tehtävien keittojen toistettavuutta voitaisiin selvittää koesarjan avulla.



## LÄHDELUETTELO

1. Malkov, S., Teknillinen korkeakoulu, suullinen tiedonanto 3. 8. 1999.
2. Tikka, P. & Kovasin, K., Laboratory simulation of modified kraft cooking systems - a new cooking system enables independent temperature and liquor transfer programs. Tappi Pulping Conference, San Diego USA 6. - 10. 10. 1994, TAPPI Press, 1994, Book 3, s. 905-911
3. Leminen, A., KCL:n keittämö uusitaan. KCL Linkki 1997:2, s. 7.
4. Leminen, A., Keskuslaboratorio, Suullinen tiedonanto 6. 11. 1998.
5. Lönnberg, B., Saari, K., Robertsén, L. & Kneck, S., Recent developments in kraft delignification. s.175-180.
6. Lindgren, C. T. & Lindström, M., The kinetics of residual delignification and factors affecting the amount of residual lignin during kraft pulping. J. Pulp Pap. Sci 22(1996)8, s. 290-295.
7. Gullichsen, J., Kolehmainen, H. & Sundqvist, H., On the nonuniformity of the kraft cook. Pap.Puu 74(1992)6, s. 486-490
8. George, J., Lachenal, D. & Perez, C., Limits of the extended cooking concept and bleachability of resulting pulps. TAPPI 1997 Pulping conference proceedings, Tappi Press 1997, Atlanta, s. 889-895.
9. Tikka, P., MacLeod, J.M. & Kovasin, K., Chemical and physical performance of kraft cooking: the impact of process alternatives. Tappi J: 74(1991)1, s. 137-143.
10. MacLeod, J. M., New, improved kraft pulp quality. Pap.Puu 72(1990)8, s. 780-787
11. Blume, W., Basket Cooking in Mill Digesters. Tappi 37(1954)12, s. 145A-147A.
12. Virkola, N-E., Pikka, O. & Keitaanniemi, O., Sulfaattisellun valmistus, Virkola N-E. (toim.), Puumassan valmistus, 2. painos, Turku 1983, SPY/TTA s. 291-410.
13. Joutsimo, O., Modernin syrjäytyseräkeiton tasaisuuden broblematiikka, Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, Puunjalostustekniikan laitos, Espoo 1999, 104 s.
14. Härkönen, E., A mathematical model for two-phase flow in a continous digester. Tappi J. 70(1987)12, s. 122-126.
15. Wang, Z. & Gullichsen, J. Flow compressability and resistance of chips made with a new chipping technique. 1998 Tappi pulping conference, s. 753-760.



16. Gullichsen, J., Tikka, P.O. & Tikka P., Supersellu — mitä se on? Pap. Puu 74(1992)2, s. 123-124.
17. Tikka, P. & Kovasin, K. Displacement vs. conventional batch kraft pulping: delignification patterns and pulp strength delivery. Pap. puu 72(1990)8, s. 773-779.
18. Pihlava, M., Fibre deformation and strength loss in kraft pulping of softwood, Lisensiaattityö, Teknillinen korkeakoulu, puunjalostustekniikan laitos. 1998. 112 s.
19. MacLeod, M. & Pelletier, L., Basket cases: kraft pulps inside digesters. Tappi J. 70(1987)11, s. 47-53.
20. Horng, A.J., Mackie, D.M. & Tichy J., Factors affecting pulp quality from continuous digesters. Tappi J. 70(1987)12, s. 75-79.
21. Wizani, W., Hepp, M. & Sinner, M., White liquor impregnation and down-flow displacement in kraft pulping. 5th international conference on new available techniques. World pulp and paper week, Stockholm, Sweden, 4-7 June 1996, SPIC, Stockholm, Sweden, 1996. Part 1, s. 436-448.
22. KCL:n keittolaboratorion esite [online]. [Espoo], KCL. [Viitattu 29.7.1999]. Saatavilla [www.muodossa.fi/pulp/chemical.html](http://www.muodossa.fi/pulp/chemical.html)  
<URL:http://www.kcl.fi/pulp/chemical.html>
23. Keays, J., L. & Bagley, J. M., Digester assembly for precision pulping studies. Tappi J. 53(1970)10, s. 1935-1940.
24. Valodis, V., de Young, J. L., Copeland, P., Pereira, R. & Clark, N. B., Australian laboratory digester for China. Appita J. 50(1997)5, s. 357-361.
25. Correia, F., Roy, D.N. & Goel, K., Pulping of Canadian industrial hemp (*Cannabis Sativa* L.). 84th annual meeting, technical section CPPA, B185-B187.
26. Zomers, F. A., Gosselink, R. J. & Tjeerdsma, B. F., Organosolv pulping and test paper characterization of fiber hemp. TAPPI 1993 Pulping conference proceedings, Tappi Press 1993, Atlanta, s. 3-9.
27. Anon., Tuote-esite, Haato Oy, 1994. 177-184.
28. Sturgeoff, L. G., Pitl, Y., Low kappa pulping without capital investment - use of anthraquinone for low kappa pulping. TAPPI 1993 Pulping conference proceedings, Tappi Press, Atlanta, s. 3-9.
29. Anon., Pulp Center UPM. esite, UPM-Kymmene Oyj, Pietarsaari, 1998, 6 s.
30. Bofeng, M. & Hartler, N., Improved modified kraft cooking. Part 1. Pretreatment with a sodium sulfide solution. Pap. ja puu 74(1992)6, s. 491-493.



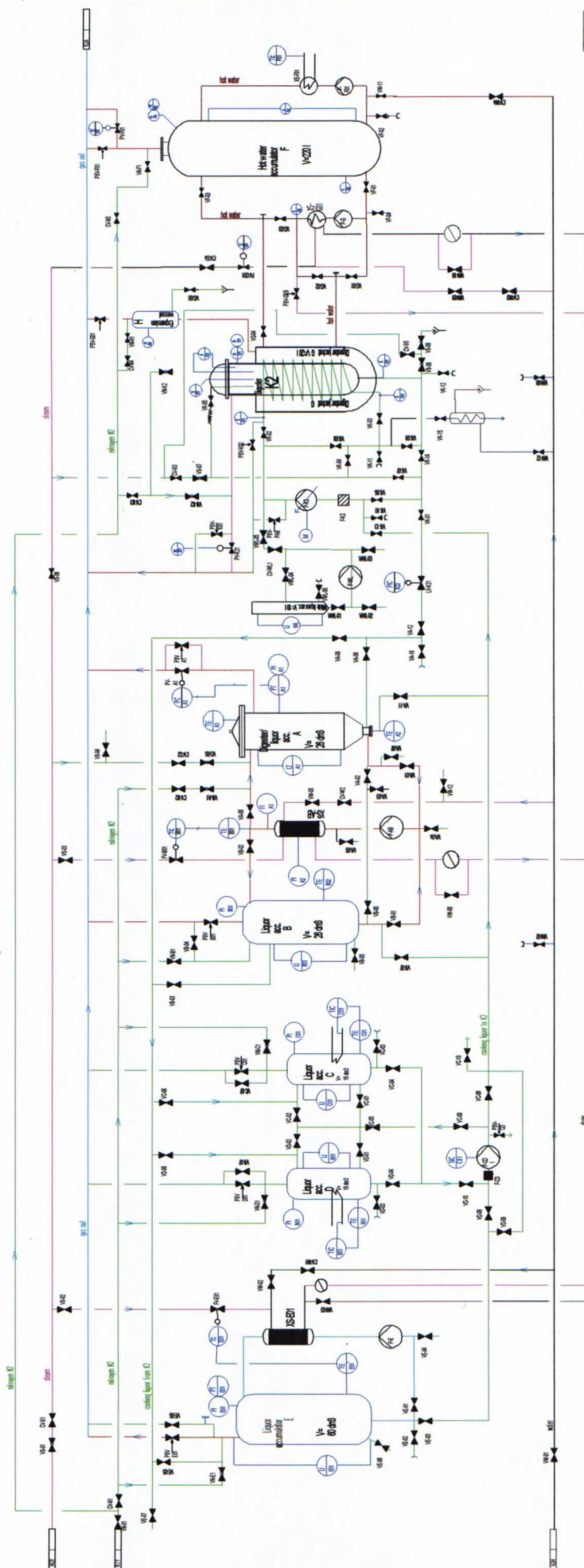
31. Puthson, et. al., ASAM pulping of *Eucalyptus Camadulensis* and TCF bleaching of the resulting pulps., *Holzforschung* 51(1997)3, s. 252-262.
32. de Young, J.L. & Clark, N.B., A microcomputer-based control system of laboratory digesters. *Appita J.* 41(1988)3, s. 203-206
33. Pasco, M.F. & Suckling, I.D., Lignin removal during kraft pulping. *Holzforshung* 48(1994)6 s. 504-508.
34. Leminen, A., Keiton ja happidelignifioinnin vaikutus sulfaattimassan laatuun ja saantoon, *Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, Puunjalostustekniikan laitos, Espoo 1992*, 125 s.
35. Nylander, G & Olm, L., Equipment for research and contract work. *STFI Kontakt* June 1997, s. 415-426.
36. Irvine, G. M., Clark, N. B. & Recupero, C., Extended delignification of mature and plantation eucalypt wood. Part 3: laboratory simulation of commercial processes. *Appita J.* 49(1996)6, s. 415-426.
37. Jiang, J., Greenwood, B., Phillips, J. & Becker, E., Extended delignification with a prolonged mild counter-current cooking stage. *Appita J.* 45(1992)1, s 19-22.
38. Jiang, J., Extended modified cooking with polysulfide for simultaneous pulp yield and strength improvement. *Tappi 1992 Pulping Conf.*, s. 683-690.
39. Kettunen A., Råmark, H., Harsia, K. & Henricson, K., Effect of cooking stage EA concentration profiles on softwood kraft pulping. *Pap. puu* 79(1997)4, s.232-239.
40. Sepall, O. & Bignell, F.G., A versatile automated laboratory digester. *Tappi* 60(1977)2, s.127-128.
41. Abuhasan, M. J., Sezgi, U. S., Jameel, H., Chang, H., Kirkman, A. G. & Andrews, E., The effects of alkali charge and white liquor sulfidity on rapid displacement heating (RDH) kraft pulping. *TAPPI 1992 Pulping conference proceedings*, Tappi Press, Atlanta, s. 1023-1036.
42. Pekkala, O., Prolonged kraft cooking modified by anthraquinone and polysulphide. *Pap. puu* 68(1986)5, s. 385-400.
43. Pulsar-pumpun asennus- ja käyttöohje (englannin kielinen). *ENGINEERED PUMP OPERATIONS*, 2883 Brighton Henrietta TL Road, P.O. Box 22909, Bulletin No. PMP-IOM-96, s. 4.
44. Honeywell measurex'n ohjekansio 3. Peruslohkot, Honeywell Oy, PL 168, 78201 Varkaus, 3.7.1997, s. 1, 55-58)



## LIITTEET

Liite 1	TKK:n ”Taimi”-keittimen virtauskaavio
Liite 2	Mäntäpumppujen P-WL ja P-K2 pumppausnopeudet ja pumppujen yhteiskäyttö syrjäytyksessä
Liite 3	Hammasrataspumpun P-CD testiajon tulokset
Liite 4	Säätöjärjestelmän hierarkiset lohkot ja lohkokuvaukset
Liite 5	PID-säätöparametrit ja mittausten kalibrointivakiot
Liite 6	TKK:n ”Taimi”-keittimen yleisohje





NOT TO BE USED FOR CONSTRUCTION

SciTech-Service Oy Ltd

Technical University of Technology  
Laboratory of Pulping Technology

(FINAL)

Address/part table name:  
position list.xls

Project number:                      File name: tkdwk-2.cad

12 1997

8 08 1000

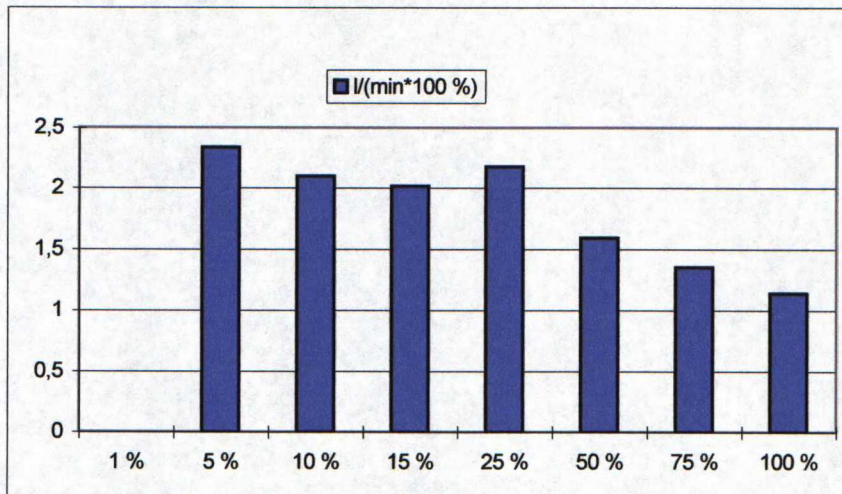
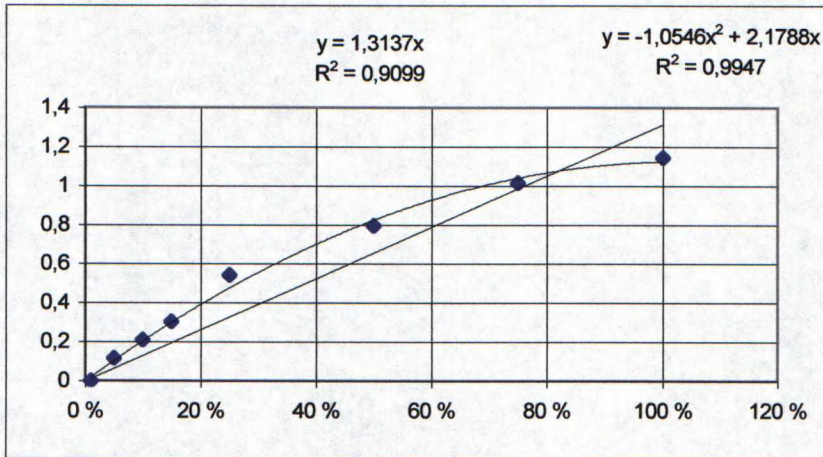
Approved:	
III	Approved

--	--



### Pumppaustesti ilman keittimen painetta

Asetus	Virtaus l/min	Virtaus/asetus l/(min*100 %)
1 %	0	0
5 %	0,117	2,34
10 %	0,21	2,1
15 %	0,303	2,02
25 %	0,544	2,176
50 %	0,795	1,59
75 %	1,014	1,352
100 %	1,143	1,143





Testattu valkolipeäpumpun pumppausnopeutta painetta vastaan pumpattaessa.  
Pumpattu kylmää vettä.  
Imupuoli paineeton, keittimessä 10,0 baarin paine, keittimen pinnankorkeus 30 - 80 %.  
Pumpattu neste mitattu sekä annostelusäiliöstä että vaa'alta.  
Pumppausnopeus on laskettu säiliön pinnan muutoksen mukaan.

1. Ajo, iskunpituus 25 %

	klo	Vettä säiliössä	Vettä vaa'alla	Pumppausnopeus (l/min)
Alku	26,35	9	0	
Loppu	61,03333	1,415	7,52	
Erotus	34,68333	7,585	7,52	0,218693

2. Ajo, iskunpituus 50 %

	klo	Vettä säiliössä	Vettä vaa'alla	Pumppausnopeus (l/min)
Alku	3,47	9	8,64	
Loppu	21,33333	0	17,43	
Erotus	17,86333	9	8,79	0,503825

3. Ajo, iskunpituus 100 %

	klo	Vettä säiliössä	Vettä vaa'alla	Pumppausnopeus (l/min)
Alku	23,75	9	19,6	
Loppu	32,1	0	28,43	
Erotus	8,35	9	8,83	1,077844

4. Ajo, iskunpituus 75 %

	klo	Vettä säiliössä	Vettä vaa'alla	Pumppausnopeus (l/min)
Alku	46,5	9	30,35	
Loppu	57,65	0	39,27	
Erotus	11,15	9	8,92	0,807175

5. Ajo, iskunpituus 40 %

	klo	Vettä säiliössä	Vettä vaa'alla	Pumppausnopeus (l/min)
Alku	6,95	9	39,97	
Loppu	29,23333	0	48,75	
Erotus	22,28333	9	8,78	0,403889

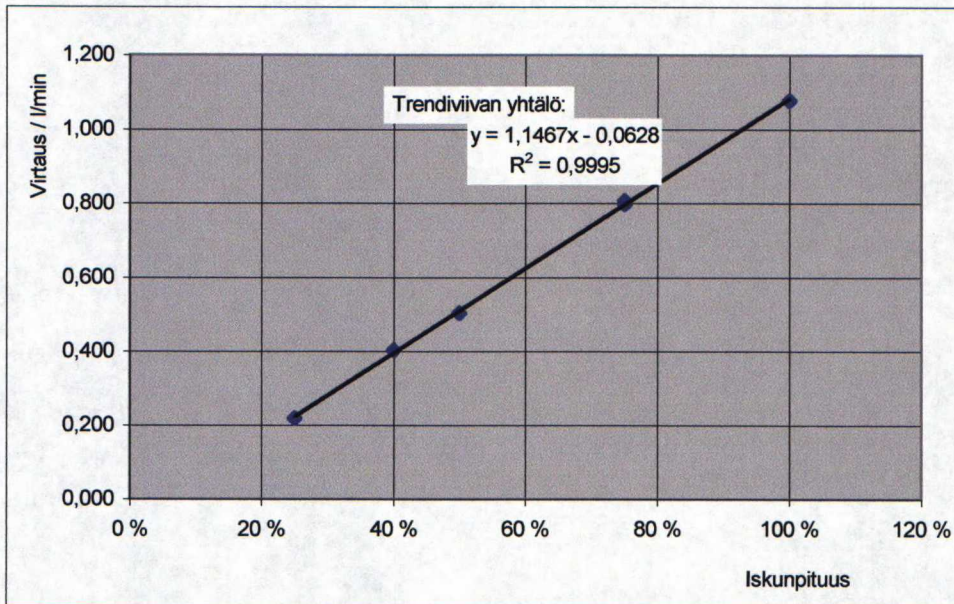
6. Ajo, iskunpituus 75 %

	klo	Vettä säiliössä	Pumppausnopeus (l/min)
Alku	37,55	9	
Loppu	48,83333	0	
Erotus	11,28333	9	0,797637



29.3.1999, 10 bar

Iskunpit.	Virtaus l/min	Virtaus/asetus (l/(min*100 %))
25 %	0,219	0,875
50 %	0,504	1,008
100 %	1,078	1,078
75 %	0,807	1,076
40 %	0,404	1,010
75 %	0,798	1,064



Trendiviivan yhtälö:

$\text{Virtaus} = (\text{iskunpit.}/\% - 5,48)/100 * 1,147 \text{ l/min}$

Pumppausnopeus iskunpituudella 100 % 1,078 l/min



Testiajo vastapaineen ollessa 3,2 - 5,0 bar. Iskunpituus oli 66%.

8,04 litran pumppaamiseen meni aikaa 10min 59,54 s.

Eli pumppausnopeus = 0,011082 l/min%

Kooste-aulukon mukaan aikaa olisi pitänyt kulua 11 min 32 s

Lasku on:  $8,0 / ((66-5.5)/100 \cdot 1,147)$

Eroa oli siis n. 5 %

**Testin tulos: Joko pumppausnopeus ei ole tarkkaan määrätty tai sitten 3,2 - 5 baarilla virtaus on n. 5 % nopeampi kuin 10 baarin vastapaineella.**

**Lisätestausta:**

2,0 baarin vastapaineella 8,0 l vaati 10.19 minuutin oton iskulla 75 %.

**Yllättävän pieni virtaus!**

Kokeillaan iskua 78 % 5 baarin vastapaineella -> 9 min 18 s = 9,3 min .

Laskennallinen: 9,620299

**Virtaus n. 3 % laskennallista suurempi**



Pumpun nopeudet: 25, 50 ja 100 %.

Iskunpituudet: 1, 5, 10 ja 20

Paineet: Imupuoli n. 0,1 bar aty - häviöt, painep. 0,5, 5,0 ja 10,0 bar aty.

-> 36 yhdistelmää -> Käytetään aluksi vain painetta 5,0 bar ->12 yhdistelmää

**Virtaukset paineella 5,0 bar (l/min):**

Taajuus	Iskunpituus/mm				
	1	5	10	20	
25 %	0,06	0,43	0,89	1,82	l/min
50 %	0,12	0,86	1,8	3,69	l/min
100 %		1,75	3,63	7,35	l/min

**Koe1** 0,86 l/min

Min	Litraa		
0	0		
1	0,8	0,80	0,80
5	4,32	0,88	0,86
7	6,04	0,86	0,86
8	6,88	0,84	0,86

**Koe2** 1,8 l/min

Min	Litraa		
0	10		
2	13,4	1,70	1,70
3,5	16,16	1,84	1,76
11,5	30,7	1,82	1,80
13	33,37	1,78	1,80

**Koe 3** 3,69 l/min

Min	Litraa		
0	7		
2	14,43	3,72	3,72
5	25,41	3,66	3,68
7	32,78	3,69	3,68
9	40,16	3,69	3,68

**Koe 4** 1,75 l/min

Min	Litraa		
0	54,19		
2	57,67	1,74	1,74
5	62,9	1,74	1,74
7	66,4	1,75	1,74
9	69,91	1,76	1,75
10	71,67		

**Koe 5** 3,63 l/min

Min	Litraa		
0	30,19		
1	33,86	3,67	3,67
2,5	39,23	3,58	3,62
4	44,69	3,64	3,63
5	48,31	3,62	3,62
10	66,53	3,64	3,63
11	70,1	3,57	3,63

**Koe 6** 7,35 l/min

Min	Litraa		
0	34,45		
1	41,8	7,35	7,35
2	43,72	1,92	4,64
2,5	44,4	1,36	1,36
3	45,08	1,36	1,36
4	46,52	1,44	1,40
5	47,95	1,43	1,41
7	50,69		

**Koe 7** 1,82 l/min

Min	Litraa		
0	7,5		
1	9,35	1,85	1,85
2	12,96	3,61	2,73
7	20,22	1,45	1,82
8	22,05	1,83	1,82

**Koe 8** 0,89 l/min

Min	Litraa		
0	32		
2	33,76	0,88	0,88
8	39,1	0,89	0,89
15	45,33	0,89	0,89

**Koe 9** 0,43 l/min

Min	Litraa		
0	50,52		
6	53,06	0,42	0,42
10,5	54,99	0,43	0,43

**Koe 10** 0,06 l/min

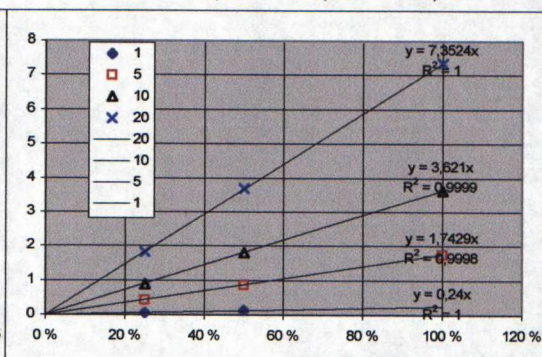
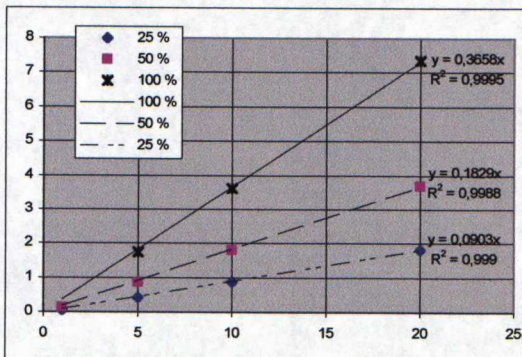
Min	Litraa		
0	55,98		
18,3	57,05	0,06	0,06

**Koe 11** 0,12 l/min

Min	Litraa		
0	0		
10	1,2	0,12	0,12

**Koe 12** 0,15 l/min

Min	Litraa (62,93 % pump.nop.)		
0	1,68		
1	1,84	0,16	0,16
2	1,99	0,15	0,16
11	3,27	0,14	0,14
13	3,59	0,16	0,15





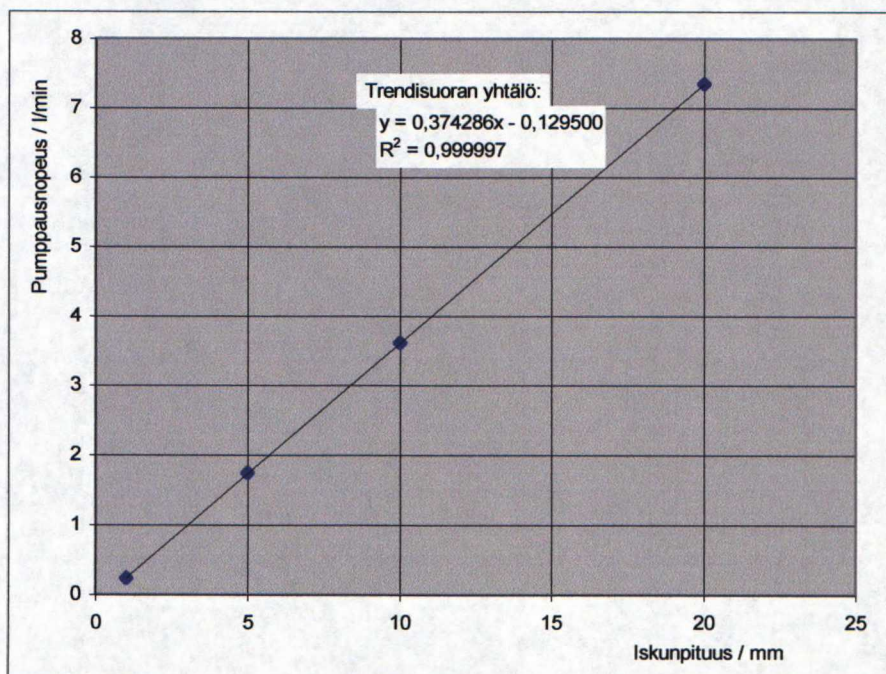
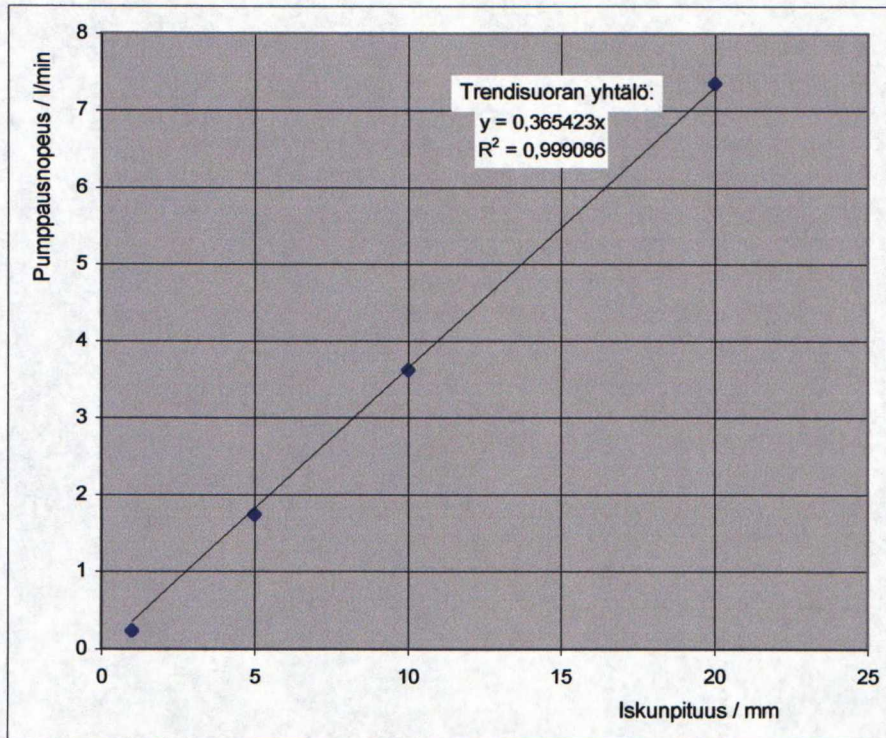
iskunpit.	l/100 %
20	7,3524
10	3,621
5	1,7429
1	0,24

**Kaava:** Pumppausnopeus =  $0,3654 \cdot \text{iskunpituus/mm} \cdot \text{pumppaustaajuus}/100 \text{ \% l/min.}$

Esim: Pumppausnopeus =  $0,3654 \cdot 10 \text{ mm/mm} \cdot 50 \text{ \%}/100 \text{ \% l/min} = 0,3654 \cdot 10 \cdot 0,5 \text{ l/min} = 1,83 \text{ l/min}$

Kaava toimii ylipainetta vastaan pumpattaessa.

Tarkempi kaava: Pump.nop. =  $(0,3743 \cdot (\text{iskunpit.} - 0,346))/\text{mm} \cdot \text{taajuus}/100\%) \text{ l/min}$





**P-K2**

Imupuolen paine: vesijohtoverkko, noin 4 bar

Painepuolen paine: 10,0 bar, säädetään syrjäytysventtiilillä

Nopeuskerroin [ml/(min\*mm\*)] = Pumppausnopeus / (Iskunpituus\*Taajuus)

Ajonumero	1	2	5	6
P-K2 iskunpituus (mm)	5,0	5,0	2,5	2,5
Moottorin taajuus (%)	50	22	22	25
Alkuaika	17:55:00	18:07:10	19:35:15	8:57:24
Loppuaika	18:02:40	18:27:18	19:59:00	9:44:35
Aika	0:07:40	0:20:08	0:23:45	0:47:11
Alkumassa	20,85	30,64	59,82	66,01
Loppumassa	28,43	39,40	64,36	76,44
Massa	7,58	8,76	4,54	10,43
Pumppausnopeus (l/min)	0,99	0,44	0,191	0,221
Nopeuskerroin (ml/(min*mm*))	3,95	3,96	3,48	3,54
Painevaron vuoto	ei	ei	ei	ei

**P-WL**

Painepuolen paine: 10,0 bar, säädetään syrjäytysventtiilillä

Nopeuskerroin [ml/(min\*)] = Pumppausnopeus / Iskunpituus

Ajonumero	3	4	7
PWL iskunpituus (%)	80,0	100	70
Alkuaika	18:54:00	19:09:30	10:13:30
Loppuaika	19:02:00	19:16:00	10:31:17
Aika	0:08:00	0:06:30	0:17:47
Alkumassa	42,20	51,64	4,06
Loppumassa	49,39	58,80	18,75
Massa	7,19	7,16	14,69
Pumppausnopeus (l/min)	0,90	1,10	0,83
Nopeuskerroin (ml/(min*))	11,23	11,02	11,80
Painevaron vuoto	<0,1 l	ei	ei

8. ja 9. ajossa tarkoitus simuloida VL:n ja KML:n yhteisajoa, siten että syrjäytysnopeus=1,00 l/min

VL:ää pumpataan 7,05 litraa ja KML:ää samassa ajassa 1,95 l, yhteensä 9 l = 9 min.

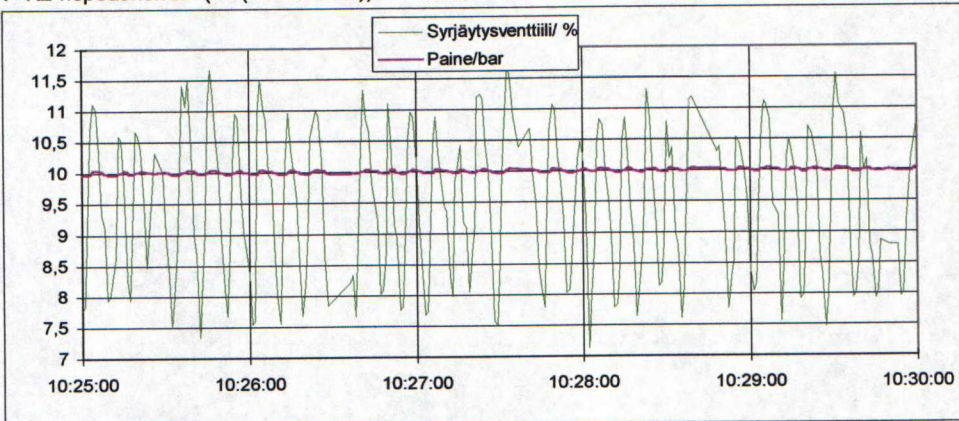
Tarkkuuden saamiseksi pumpataan ensiksi KML:ää, sitten käynnistetään WL-pumppu ja otetaan heti lukemat ylös.

**10. ajossa jäljitellään Sergein ajoa, KML:ää 4,7 l, VL:ää 8,3 l (8,27) 13 minuutissa.**

VL: 7,05/9 = 0,783 l/min (Käytetään 71 %)

KML: 1,95/9 = 0,217 l/min (2,5 mm ja 25 %)

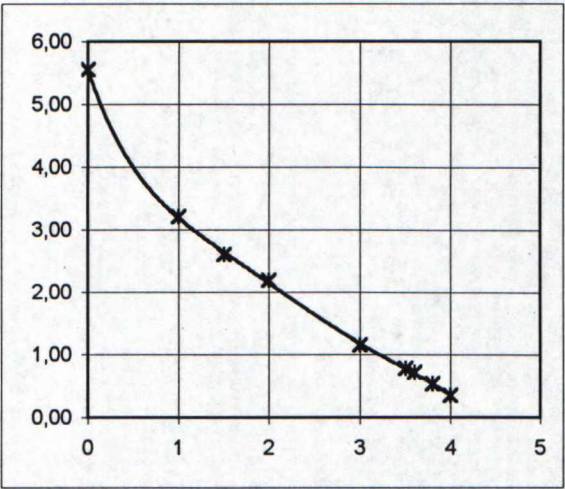
Ajonumero	8	9	10	11	12
P-K2 iskunpituus (mm)	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Moottorin taajuus (%)	25	25	32	35	35
PWL iskunpituus (%)	70,0	70,0	57	60	60
Loppuaika	11:02:59	13:20:07	14:28:20	16:02:08	0:12:40
Alkuaika	10:53:55	13:11:02	14:14:48	15:49:54	0:00:00
Aika	0:09:04	0:09:05	0:13:32	0:12:14	0:12:40
Loppumassa	35,98	49,96	78,65	56,89	38,42
Alkumassa	26,49	40,21	65,85	42,96	24,52
Massa	9,49	9,75	12,80	13,93	13,90
Pinnanmuutos asteikolta	7,02	7,02	8,27	8,27	8,27
Tilavuuden muutos	7,05	7,05	8,30	8,30	8,30
Pumpun P-K2 pumppaama massa	2,44	2,70	4,50	5,63	5,60
Pumppausnopeus (l/min)	1,05	1,07	0,95	1,14	1,10
Pumppausnopeus P-WL (l/min)	0,78	0,78	0,61	0,68	0,66
Pumppausnopeus P-K2 (l/min)	0,27	0,30	0,33	0,46	0,44
P-WL nopeuskerroin (ml/(min*))	11,10	11,08	10,76	11,31	10,92
P-K2 nopeuskerroin (ml/(min*mm*))	4,31	4,76	4,16	5,26	5,05





Liite 3 Hammasrataspumpun P-CD testiajon tulokset

Nopeus (%)	p(säiliö):	Virtaus
0	0	1,15
20	0	1,17
50	0	3,31
50	0,5	1,26
50	1	0,64
50	1,3	0,00
100	0	5,56
100	1	3,21
100	1,5	2,61
100	2	2,19
100	3	1,15
100	3,5	0,78
100	3,6	0,72
100	3,8	0,54
100	4	0,35



Imupuolen paine (ilman virtausta) noin 0,1 bar

Painepuolen paine = Häviöt ennen keittimen pumppua + painehäviöt keittimen pumpusta ja suodattimesta + säiliön paine (0,5 - 4)

Jos vastapaine 0, niin Painepuolen paine = Häviöt ennen pumppua

Taajuusmuuttajalla luki  $f = 49,7 \text{ Hz}$ , kun pumpun nopeusohje oli 100 %



# Hierarkiset lohkot ja lohkokuvaukset

Lohkot PA1DATA ja PA1ES01: Ei kuvausta järjestelmässä.

Lohkokuvaukset ovat niistä lohkoista, joissa on ulkoisia liittimiä (lohkotaulukon **lihavoidut** lohkot), eli kuvauksia ei ole hakemistotyyppisistä- eikä alilohkoista.

## SISÄLLYSLUETTELO:

1. LOHKOTAULUKKO	2
2. H-TEKIJÖIDEN LASKULOHKOT, ELI LOHKON PA1HF01 ALAISET LOHKOT	3
HFA01	3
HFA02	3
HF-DAAVE	3
HF-K21	3
HF-K22	3
HF-K2AVE	3
3. LIPEÄN SÄHKÖLÄMMITTIMIEN KYTKINLOHKOT, ELI LOHKON PA1KY01 ALAISET LOHKOT	4
XE-C1	4
XE-D1	4
XE-F1	4
4. PINNANK. JA PAINEIDEN MITTAUKSET, ELI LOHKON PA1MI01 ALAISET LOHKOT	4
LI-A01	4
LI-B01	4
LI-C01	4
LI-D01	5
LI-E01	5
LI-F01	5
LI-K21	5
PI-E01	5
PI-G01	6
PI-K21	6
5. LÄMPÖTILAN MITTAUKSET, ELI LOHKON PA1MI02 ALAISET LOHKOT	6
TI-A01	6
TI-A02	6
TI-B02	6
TI-K21	7
TI-K22	7
TI-K23	7
TI-K24	7
6. MOOTTORIEN KÄYNNISTYKSET, ELI LOHKON PAMO01 ALAISET LOHKOT	8
P-AB	8
P-CD1	8
P-E1	8
P-F1	8
P-G1	8
P-K2	9
P-WL	9
7. SÄÄTÖLOHKOT, ELI LOHKON PASA01 ALAISET LOHKOT	9
PIC-A01	9
PIC-F01	9
PIC-K21	9
PIC-K22	10
SIC-CD1	10
PIC-K2	10
TIC-B01	11
TIC-B02	11
TIC-C01	11
TIC-D01	11
TIC-E01	12
TIC-F01	12
TIC-F01	12
TIC-G02	13



1. Lohkotaulukko

Hakemistotyyppiset lohkot		"Varsinaiset" lohkot		Varsinaisten lohkojen kuvaukset	Alilohkojen kuvaukset
L1	KEITTO1	PA1	PA1DATA		Tiedonkeräyslohko (mm. Excel)
			PA1ES01		Hätäseis (tätä muut lohkot kukevat)
H-tekijöiden laskut:		PA1HF01	HFA01	A-säiliön ylä H-tekijä	
			HFA02	A-säiliön ala H-tekijä	
			HF-DAAVE	A-säiliöiden H-tekijöiden keskiarvo	
			HF-K21	K2:n ylä H-tekijä	
			HF-K22	K2:n ala H-tekijä	
			HF-K2AVE	K2:n H-tekijöiden keskiarvo	
Lipeän sähkölämm. kytkimet:		PA1KY01	XE-C1	XE-C1A	C-säiliön lämmittimen kytkin
			XE-D1	XE-D1A	D-säiliön lämmittimen kytkin
			XE-F1	XE-F1A	Kuumavesiakun sähkölämmitin
Pinnank. ja paineiden mittaukset:		PA1MI01	LI-A01	LI-A01A	A-säiliön pinnankork. mittaus
			LI-B01	LI-B01A	B-säiliön pinnankork. mittaus
			LI-C01	LI-C01A	C-säiliön pinnankork. mittaus
			LI-D01	LI-D01A	D-säiliön pinnankork. mittaus
			LI-E01	LI-E01A	E-säiliön pinnankork. mittaus
			LI-F01	LI-F01A	Kuumavesiakun pinnank. mittaus
			LI-K21	LI-K21A	Keittimen pinnankork. mittaus
			PI-E01	PI-E01A	E-säiliön paineen mittaus
			PI-G01	PI-G01A	Keittimen vaipan paineen mittaus
			PI-K21	PI-K21A	Keittimen paineen mittaus
			TI-A01	TI-A01A	A-säiliön yläpään lämpötila
			TI-A02	TI-A02A	A-säiliön alaosan lämpötila
Lämpötilan mittaukset:		PA1MI02	TI-B02	TI-B02A	B-säiliön lämpötila
			TI-K21	TI-K21A	Keittimen yläpään lämpötila
				TI-K21B	Keskiarvon lasku (TI-K21 ja TI-K22)
			TI-K22	TI-K22A	Keittimen alaosan lämpötila
			TI-K23	TI-K23A	Lipeäkierukan ylälämpötila (tulo)
			TI-K24	TI-K24A	Lipeäkierukan alialämpötila (lähtö)
			P-AB	P-ABA	Pumpun AB käynnistys
				P-ABB	
Moottorien käynnistykset:		PAMO01	P-CD1	P-CD1A	Pumpun CD käynnistys
				P-CD1B	
			P-E1	P-E1A	E-säiliön lämm.pumpun käynnistys
				P-E1B	
			P-F1	P-F1A	KV-akun lämm.pumpun käynnistys
				P-F1B	
			P-G1	P-G1A	Vaippaveden kiertopumpun käynn.
				P-G1B	
			P-K2	P-K2A	Keitinkiertopumpun käynnistys
				P-K2B	
			P-WL	P-WLA	Valkoipeäpumpun käynnistys
				P-WLB	
SÄÄDÖT (+mittaukset): Paineet pumput ja lämpötilat		PASA01	PIC-A01	PIC-A01A	A-säiliön paineen mittaus ja säätö
				PIC-A01B	
				PIC-A01C	
			PIC-F01	PIC-F01A	KV-akun paineen säätö ja mittaus
				PIC-F01B	
				PIC-F01C	
			PIC-K21	PIC-K21A	Keittimen paineen säätö
				PIC-K21B	
				PIC-K21C	
			PIC-K22	PIC-K22A	Syrjäytyksen paineen säätö
				PIC-K22B	
				PIC-K22C	
			SIC-CD1	SIC-CD1A	CD-pumpun kierrosnop. säätö
				SIC-CD1B	
				SIC-CD1C	
			SIC-K2	SIC-K2A	Keitinkiertopumpun kier.nop. säätö
				SIC-K2B	
				SIC-K2C	
			TIC-B01	TIC-B01A	A- ja B-säiliön lämpötilan säätö
				TIC-B01B	
				TIC-B01C	
				TIC-B01D	
				TIC-B01E	
			TIC-B02	TIC-B02A	8 osainen lämpötilaramppisäätö
				TIC-B02B	
				TIC-B02C	
				TIC-B02D	
				TIC-B02E	
				TIC-B02F	
				TIC-B02G	



## 2. H-tekijöiden laskulohkot, eli lohkon PA1HF01 alaiset lohkot

### **HFA01**

Loop HF-A01 calculates the H-factor on the top of the digester A based on the measure TI-A01.

The cumulation does not start until temperature is 80°C or more.

Cumulation may be reset by res-pin so that HF-A02 is reset at the same time.

REPMES11 collects data for HIC-unit.

Trends are collected in block TRENDS.

### **HFA02**

Loop HF-A01 calculates the H-factor on the bottom of the digester A based on the measure TI-A02.

The cumulation does not start until temperature is 80°C or more.

Cumulation may be reset by res-pin in the block HF-A01 so that both blocks are reset at the same time

REPMES11 collects data for HIC-unit.

Trends are collected in block TRENDS.

### **HF-DAAVE**

HF-K2AVE calculates the average of HF-K21 and HF-K22 values.

The calculation of average does not start until both values are more than 0.

REPMES11 collects data for HIC-unit.

Trends are collected by the block TRENDS.

### **HF-K21**

Loop HF-K21 calculates the H-factor on the top of the digester K2 based on the measure TI-K21.

The cumulation does not start until temperature is 80°C or more.

Cumulation may be reset by res-pin and the HF-K22 will be reset at the same time.

REPMES11 collects data for HIC-unit.

Trends are collected in block TRENDS.

### **HF-K22**

Loop HF-K22 calculates the H-factor on the top of the digester K2 based on the measure TI-K22.

The cumulation does not start until temperature is 80°C or more.

Cumulation may be reset by res-pin in HF-K21 and HF-K22 will be reset at the same time.

REPMES11 collects data for HIC-unit.

Trends are collected in block TRENDS.

### **HF-K2AVE**

HF-K2AVE calculates the average of HF-K21 and HF-K22 values.

The calculation of average does not start until both values are more than 0.

REPMES11 collects data for HIC-unit.

Trends are collected by the block TRENDS.



### 3. Lipeän sähkölämmittimien kytkinlohkot, eli lohkon PA1KY01 alaiset lohkot

#### ***XE-C1***

Loop XE-C1 is the switch for heater C. It can be controlled manually (mode=0) or automatically (mode=1) which means that TIC-C01 turns the switch on and off using the pulse control signal. XE-C1A interlocks the loop when there is emergency stop situation or another loop interlocks the loop.

ALARSD and ALARCD generate the alarms.

#### ***XE-D1***

Loop XE-D1 is the switch for heater D. It can be controlled manually (mode=0) or automatically (mode=1) which means that TIC-D01 turns the switch on and off using the pulse control signal. XE-D1A interlocks the loop when there is emergency stop situation or another loop interlocks the loop.

ALARSD and ALARCD generate the alarms.

#### ***XE-F1***

Loop XE-F1 is the switch for heater F. It can be controlled manually (mode=0) or automatically (mode=1) which means that TIC-F01 turns the switch on and off using the pulse control signal. XE-F1A interlocks the loop when there is emergency stop situation or another loop interlocks the loop.

ALARSD and ALARCD generate the alarms.

### 4. Pinnank. ja paineiden mittaukset, eli lohkon PA1MI01 alaiset lohkot

#### ***LI-A01***

Loop LI-A01 measures the liquid level in the tank/digester A.

Block AILI4 scales a linear measurement input signal to the measurement area and filters it using exponential filtering.

Block LI-A01A generates the alarms.

Block REPMES11 collects measured data for HIC-unit. All the output pins are vectors:

Rep (initial value, mean value, minimum value, maximum value, standard deviation, status).

Block TRENDS collects trends.

#### ***LI-B01***

Loop LI-B01 measures the liquid level in the tank B.

Block AILI4 scales a linear measurement input signal to the measurement area and filters it using exponential filtering.

Block LI-B01A generates the alarms.

Block REPMES11 collects measured data for HIC-unit. All the output pins are vectors:

Rep (initial value, mean value, minimum value, maximum value, standard deviation, status).

Block TRENDS collects trends.

#### ***LI-C01***

Loop LI-C01 measures the liquid level in the tank C.

Block AILI4 scales a linear measurement input signal to the measurement area



and filters it using exponential filtering.

Block LI-C01A generates the alarms when alarm limit is reached

and interlocks the loop when interlocking limit is reached.

Block REPMES11 collects measured data for HIC-unit. All the output pins are vectors:

Rep (initial value, mean value, minimum value, maximum value, standard deviation, status).

Block TRENDS collects trends.

### **LI-D01**

Loop LI-D01 measures the liquid level in the tank D.

Block AILI4 scales a linear measurement input signal to the measurement area

and filters it using exponential filtering.

Block LI-D01A generates the alarms when alarm limit is reached

and interlocks the loop when interlocking limit is reached.

Block REPMES11 collects measured data for HIC-unit. All the output pins are vectors:

Rep (initial value, mean value, minimum value, maximum value, standard deviation, status).

Block TRENDS collects trends.

### **LI-E01**

Loop LI-E01 measures the liquid level in the tank E.

Block AILI4 scales a linear measurement input signal to the measurement area

and filters it using exponential filtering.

Block LI-E01A generates the alarms when alarm limit is reached

and interlocks the loop when interlocking limit is reached..

Block REPMES11 collects measured data for HIC-unit. All the output pins are vectors:

Rep (initial value, mean value, minimum value, maximum value, standard deviation, status).

Block TRENDS collects trends.

### **LI-F01**

Loop LI-F01 measures the liquid level in the hot water accumulator.

Block AILI4 scales a linear measurement input signal to the measurement area

and filters it using exponential filtering.

Block LI-F01A generates the alarms when alarm limit is reached

and interlocks the loop when interlocking limit is reached.

Block REPMES11 collects measured data for HIC-unit. All the output pins are vectors:

Rep (initial value, mean value, minimum value, maximum value, standard deviation, status).

Block TRENDS collects trends.

### **LI-K21**

Loop LI-K21 measures the liquid level in the digester K2.

Block AILI4 scales a linear measurement input signal to the measurement area

and filters it using exponential filtering.

Block LI-K21A generates the alarms.

Block REPMES11 collects measured data for HIC-unit. All the output pins are vectors:

Rep (initial value, mean value, minimum value, maximum value, standard deviation, status).

Block TRENDS collects trends.

### **PI-E01**

Loop PI-E01 measures the pressure in the tank E.

Block AILI4 scales a linear measurement input signal to the measurement area

and filters it using exponential filtering.



Block PI-E01A generates the alarms when alarm limit is reached and interlocks the loop when interlocking limit is reached.

Block REPMES11 collects measured data for HIC-unit. All the output pins are vectors:

Rep (initial value, mean value, minimum value, maximum value, standard deviation, status).

Block TRENDS collects trends.

### **PI-G01**

Loop PI-G01 measures the pressure in the jacket of digester K2.

Block AILI4 scales a linear measurement input signal to the measurement area and filters it using exponential filtering.

Block PI-G01A generates the alarms when alarm limit is reached and interlocks the loop when interlocking limit is reached.

Block REPMES11 collects measured data for HIC-unit. All the output pins are vectors:

Rep (initial value, mean value, minimum value, maximum value, standard deviation, status).

Block TRENDS collects trends.

### **PI-K21**

Loop PI-K21 measures the pressure in the digester K2.

Block AILI4 scales a linear measurement input signal to the measurement area and filters it using exponential filtering.

Block PI-K21A generates the alarms when alarm limit is reached and interlocks the loop when interlocking limit is reached.

Block REPMES11 collects measured data for HIC-unit. All the output pins are vectors:

Rep (initial value, mean value, minimum value, maximum value, standard deviation, status).

Block TRENDS collects trends.

## **5. Lämpötilan mittaukset, eli lohkon PA1MI02 alaiset lohkot**

### **TI-A01**

Loop TI-A01 measures the temperature of liquid at the top of the tank A.

Block AILI4 scales a linear measurement input signal to the measurement area and filters it using exponential filtering.

Block TI-A01A generates the alarms when alarm limit is reached and interlocks the loop when interlocking limit is reached.

Block REPMES11 collects measured data for HIC-unit. All the output pins are vectors:

Rep (initial value, mean value, minimum value, maximum value, standard deviation, status).

Block TRENDS collects trends.

### **TI-A02**

Loop TI-A02 measures the temperature of liquid at the bottom of the tank A.

Block AILI4 scales a linear measurement input signal to the measurement area and filters it using exponential filtering.

Block TI-A02A generates the alarms when alarm limit is reached and interlocks the loop when interlocking limit is reached.

Block REPMES11 collects measured data for HIC-unit. All the output pins are vectors:

Rep (initial value, mean value, minimum value, maximum value, standard deviation, status).

Block TRENDS collects trends.

### **TI-B02**

Loop TI-B02 measures the temperature of liquid in the tank B.



Block AILI4 scales a linear measurement input signal to the measurement area and filters it using exponential filtering.

Block TI-B02A generates the alarms when alarm limit is reached and interlocks the loop when interlocking limit is reached.

Block REPMES11 collects measured data for HIC-unit. All the output pins are vectors:

Rep (initial value, mean value, minimum value, maximum value, standard deviation, status).

Block TRENDS collects trends.

### **TI-K21**

Loop TI-K21 measures the temperature of liquid at the top of the digester K2.

Block AILI4 scales a linear measurement input signal to the measurement area and filters it using exponential filtering.

Block TI-K21A generates the alarms when alarm limit is reached and interlocks the loop when interlocking limit is reached.

Block REPMES11 collects measured data for HIC-unit. All the output pins are vectors:

Rep (initial value, mean value, minimum value, maximum value, standard deviation, status).

Block TRENDS collects trends.

### **TI-K22**

Loop TI-K22 measures the temperature of liquid at the bottom of the digester K2.

Block AILI4 scales a linear measurement input signal to the measurement area and filters it using exponential filtering.

Block TI-K22A generates the alarms when alarm limit is reached and interlocks the loop when interlocking limit is reached.

Block REPMES11 collects measured data for HIC-unit. All the output pins are vectors:

Rep (initial value, mean value, minimum value, maximum value, standard deviation, status).

Block TRENDS collects trends.

### **TI-K23**

Loop TI-K23 measures the temperature of liquid at the top of the coil of digester K2.

Block AILI4 scales a linear measurement input signal to the measurement area and filters it using exponential filtering.

Block TI-K23A generates the alarms when alarm limit is reached and interlocks the loop when interlocking limit is reached.

Block REPMES11 collects measured data for HIC-unit. All the output pins are vectors:

Rep (initial value, mean value, minimum value, maximum value, standard deviation, status).

Block TRENDS collects trends.

### **TI-K24**

Loop TI-K24 measures the temperature of liquid at the bottom of the coil of digester K2.

Block AILI4 scales a linear measurement input signal to the measurement area and filters it using exponential filtering.

Block TI-K24A generates the alarms when alarm limit is reached and interlocks the loop when interlocking limit is reached.

Block REPMES11 collects measured data for HIC-unit. All the output pins are vectors:

Rep (initial value, mean value, minimum value, maximum value, standard deviation, status).

Block TRENDS collects trends.



## 6. Moottorien käynnistykset, eli lohkon PAMO01 alaiset lohkot

### **P-AB**

Loop P-AB controls the motor of the pump AB.

P-ABA generates the alarms.

P-ABB interlocks the loop when there is emergency stop situation or some other loop interlocks the loop (protection stop).

stt is the signal of motor start

rng is the running signal

mcc is the motor central fault (normal state: 1)

ssw is the safety switch of the motor (normal state: 1)

### **P-CD1**

Loop P-CD1 controls the motor of the pump CD.

P-CD1A generates the alarms.

P-CD1B interlocks the loop when there is emergency stop situation or some other loop interlocks the loop (protection stop).

stt is the signal of motor start

rng is the running signal

mcc is the motor central fault (normal state: 1)

ssw is the safety switch of the motor (normal state: 1)

### **P-E1**

Loop P-E1 controls the motor of the pump E.

P-E1A generates the alarms.

P-E1B interlocks the loop when there is emergency stop situation or some other loop interlocks the loop (protection stop).

stt is the signal of motor start

rng is the running signal

mcc is the motor central fault (normal state: 1)

ssw is the safety switch of the motor (normal state: 1)

### **P-F1**

Loop P-F1 controls the motor of the hot water accumulator pump.

P-F1A generates the alarms.

P-F1B interlocks the loop when there is emergency stop situation or some other loop interlocks the loop (protection stop).

stt is the signal of motor start

rng is the running signal

mcc is the motor central fault (normal state: 1)

ssw is the safety switch of the motor (normal state: 1)

### **P-G1**

Loop P-G1 controls the motor of the jacket water pump.

P-G1A generates the alarms.

P-G1B interlocks the loop when there is emergency stop situation or some other loop interlocks the loop (protection stop).

stt is the signal of motor start

rng is the running signal

mcc is the motor central fault (normal state: 1)

ssw is the safety switch of the motor (normal state: 1)



**P-K2**

Loop P-K2 controls the motor of the main pump K2.

P-K2A generates the alarms.

P-K2B interlocks the loop when there is emergency stop situation or some other loop interlocks the loop (protection stop).

stt is the signal of motor start

rng is the running signal

mcc is the motor central fault (normal state: 1)

ssw is the safety switch of the motor (normal state: 1)

**P-WL**

Loop P-WL controls the motor of the pump WL.

P-WLA generates the alarms.

P-WLB interlocks the loop when there is emergency stop situation or some other loop interlocks the loop (protection stop).

stt is the signal of motor start

rng is the running signal

mcc is the motor central fault (normal state: 1)

ssw is the safety switch of the motor (normal state: 1)

## 7. Säättölohkot, eli lohkon PASA01 alaiset lohkot

**PIC-A01**

Loop PIC-A01 measures and controls the pressure in the tank/digester A.

Block AILI4 scales a linear measurement input signal to the measurement area and filters it using exponential filtering.

Block PID is the controller. It uses feedback in the manual mode (0) and the output range is 0...100%.

MODLOG is mode change logic. It changes the mode to manual when interlock happens.

Block PIC-A01A generates the alarms when alarm limit is reached and interlocks the loop when interlocking limit is reached.

PIC-A01B resets the output if there is emergency stop situation.

PIC-A01C collects measured data for HIC-unit.

PIC-A01D generates the emergency stop alarm.

Block TRENDS collects trends.

AOLI4 scales a control output to a range required by the interface card control.

**PIC-F01**

Loop PIC-F01 measures and controls the pressure in the hot water accumulator.

Block AILI4 scales a linear measurement input signal to the measurement area and filters it using exponential filtering.

Block PID is the controller. It uses feedback in the manual mode (0) and the output range is 0...100%.

MODLOG is mode change logic. It changes the mode to manual when interlock happens.

Block PIC-F01A generates the alarms when alarm limit is reached and interlocks the loop when interlocking limit is reached.

PIC-F01B resets the output if there is emergency stop situation.

PIC-F01C collects measured data for HIC-unit.

Block TRENDS collects trends.



AOLI4 scales a control output to a range required by the interface card control.

### **PIC-K21**

Loop PIC-K21 measures and controls the pressure in the digester K2.  
Block AILI4 scales a linear measurement input signal to the measurement area and filters it using exponential filtering.  
Block PID is the controller. It uses feedback in the manual mode (0) and the output range is 0...100%.  
MODLOG is mode change logic. It changes the mode to manual when interlock happens.  
Block PIC-K21A generates the alarms when alarm limit is reached and interlocks the loop when interlocking limit is reached.  
PIC-K21B resets the output if there is emergency stop situation.  
PIC-K21C collects measured data for HIC-unit.  
Block TRENDS collects trends.  
AOLI4 scales a control output to a range required by the interface card control.

### **PIC-K22**

Loop PIC-K22 measures and controls the pressure in the digester K2 when displacement happens.  
Block AILI4 scales a linear measurement input signal to the measurement area and filters it using exponential filtering.  
Block PID is the controller. It uses feedback in the manual mode (0) and the output range is 0...100%.  
MODLOG is mode change logic. It changes the mode to manual when interlock happens.  
Block PIC-K22A generates the alarms when alarm limit is reached and interlocks the loop when interlocking limit is reached.  
PIC-K22B resets the output if there is emergency stop situation.  
PIC-K22C collects measured data for HIC-unit.  
Block TRENDS collects trends.  
AOLI4 scales a control output to a range required by the interface card control.

### **SIC-CD1**

Loop SIC-CD1 measures and controls the pump speed of CD.  
Block AILI4 scales a linear measurement input signal to the measurement area and filters it using exponential filtering.  
Block PID is the controller. It uses feedback in the manual mode (0) and the output range is 0...100%.  
MODLOG is mode change logic. It changes the mode to manual when interlock happens.  
Block SIC-CD1A generates the alarms when alarm limit is reached and interlocks the loop when interlocking limit is reached.  
SIC-CD1B resets the output if there is emergency stop situation or some other loop interlocks the loop.  
SIC-CD1C collects measured data for HIC-unit.  
Block TRENDS collects trends.  
AOLI4 scales a control output to a range required by the interface card

### **PIC-K2**

Loop SIC-K2 measures and controls the pump speed of main pump.  
Block AILI4 scales a linear measurement input signal to the measurement area



and filters it using exponential filtering.

Block PID is the controller. It uses feedback in the manual mode (0)

and the output range is 0...100 %.

MODLOG is mode change logic. It changes the mode to manual when interlock happens.

Block SIC-K2A generates the alarms when alarm limit is reached

and interlocks the loop when interlocking limit is reached.

SIC-K2B resets the output if there is emergency stop situation or some other loop interlocks the loop.

SIC-K2C collects measured data for HIC-unit.

Block TRENDS collects trends.

AOLI4 scales a control output to a range required by the interface card control.

### **TIC-B01**

Loop TIC-B01 measures and controls the temperature of liquor from the heat exchanger to the digester A.

Block AILI4 scales a linear measurement input signal to the measurement area and filters it using exponential filtering.

Block PID is the controller. It uses feedback in the manual mode (0)

and the output range is 0...100%.

MODLOG is mode change logic. It changes the mode to manual when interlock happens.

Block TIC-B01A generates the alarms when alarm limit is reached

and interlocks the loop when interlocking limit is reached.

TIC-B01B uses the remote setpoint when cascade mode is on and the secondary loop is

TIC-B02 that enables to use temperature ramps and holds.

TIC-B01C collects measured data for HIC-unit.

TIC-B01D resets the output if there is emergency stop situation or some other loop interlocks the loop.

Block TRENDS collects trends.

AOLI4 scales a control output to a range required by the interface card control.

### **TIC-B02**

TIC-B02 is the secondary cascade loop for control loop TIC-B01.

Each of eight blocks consists of ramp and couple of counters which

count the time remaining at ramp and at hold. For the ramp user

can give setpoint and ramptime. The hold time is the time when the temperature

is kept the same before the next ramp block starts. The next setpoint can be higher or lower than previous one.

If not all the eight ramps are necessary user can set zeros for all setpoints

and times of the ramps not in use. The first ramp in use must be the first ramp (TIC-B02A).

### **TIC-C01**

Loop TIC-C01 measures and controls the temperature in the tank C.

Block AILI4 scales a linear measurement input signal to the measurement area and filters it using exponential filtering.

Block PID is the controller. It uses feedback in the manual mode (0)

and the output range is 0...100%.

MODLOG is mode change logic. It changes the mode to manual when interlock happens.

Block TIC-C01A generates the alarms when alarm limit is reached

and interlocks the loop when interlocking limit is reached.

TIC-C01B resets the output if there is emergency stop situation or some other loop interlocks the loop.



TIC-C01C collects measured data for HIC-unit.

TIC-C01D scales the linear control signal to binary pulse control signal.

Block TRENDS collects trends.

### **TIC-D01**

Loop TIC-D01 measures and controls the temperature in the tank D.

Block AILI4 scales a linear measurement input signal to the measurement area and filters it using exponential filtering.

Block PID is the controller. It uses feedback in the manual mode (0) and the output range is 0...100%.

MODLOG is mode change logic. It changes the mode to manual when interlock happens.

Block TIC-D01A generates the alarms when alarm limit is reached and interlocks the loop when interlocking limit is reached.

TIC-D01B resets the output if there is emergency stop situation or some other loop interlocks the loop.

TIC-D01C collects measured data for HIC-unit.

TIC-D01D scales the linear control signal to binary pulse control signal.

Block TRENDS collects trends.

### **TIC-E01**

Loop TIC-E01 measures and controls the temperature in the tank E.

Block AILI4 scales a linear measurement input signal to the measurement area and filters it using exponential filtering.

Block PID is the controller. It uses feedback in the manual mode (0) and the output range is 0...100%.

MODLOG is mode change logic. It changes the mode to manual when interlock happens.

Block TIC-E01A generates the alarms when alarm limit is reached and interlocks the loop when interlocking limit is reached.

TIC-E01B resets the output if there is emergency stop situation or some other loop interlocks the loop.

TIC-E01C collects measured data for HIC-unit.

Block TRENDS collects trends.

AOLI4 scales a control output to a range required by the interface card control.

### **TIC-F01**

Loop TIC-F01 measures and controls the temperature in the hot water accumulator.

Block AILI4 scales a linear measurement input signal to the measurement area and filters it using exponential filtering.

Block PID is the controller. It uses feedback in the manual mode (0) and the output range is 0...100%.

MODLOG is mode change logic. It changes the mode to manual when interlock happens.

Block TIC-F01A generates the alarms when alarm limit is reached and interlocks the loop when interlocking limit is reached.

TIC-F01B resets the output if there is emergency stop situation or some other loop interlocks the loop.

TIC-F01C collects measured data for HIC-unit.

TIC-F01D scales the linear control signal to binary pulse control signal.

Block TRENDS collects trends.

### **TIC-F01**

Loop TIC-F01 measures and controls the temperature in the hot water accumulator.



Block AILI4 scales a linear measurement input signal to the measurement area and filters it using exponential filtering.

Block PID is the controller. It uses feedback in the manual mode (0) and the output range is 0...100%.

MODLOG is mode change logic. It changes the mode to manual when interlock happens.

Block TIC-F01A generates the alarms when alarm limit is reached and interlocks the loop when interlocking limit is reached.

TIC-F01B resets the output if there is emergency stop situation or some other loop interlocks the loop.

TIC-F01C collects measured data for HIC-unit.

TIC-F01D scales the linear control signal to binary pulse control signal.

Block TRENDS collects trends.

## **TIC-G02**

TIC-G02 is the secondary cascade loop for control loop TIC-G01.

Each of eight blocks consists of ramp and couple of counters which count the time remaining at ramp and at hold. For the ramp user can give setpoint and ramptime. The hold time is the time when the temperature is kept the same before the next ramp block starts. The next setpoint can be higher or lower than previous one.

If not all the eight ramps are necessary user can set zeros for all setpoints and times of the ramps not in use. The first ramp in use must be the first ramp (TIC-B02A).



Säätöpiirit	Kuvaus	FILT	K	I	D
PIC-A01	A-säiliön paineen mittaus ja säätö	1	0	0	0
PIC-F01	KV-akun paineen säätö ja mittaus	1	1	1	0
PIC-K21	Keittimen paineen säätö (kaasuv.)	1	0,1	0,1	0
PIC-K22	Syrjäytyksen paineen säätö	1	10	0,1	0
SIC-CD1	CD-pumpun kierrosnop. säätö	1	0	0	0
SIC-K2	Keitinkiertopumpun kier.nop. säätö	1	0	0	0
TIC-B01	A- ja B-säiliön lämpötilan säätö	1	1	0,2	0
TIC-C01	C-säiliön lämpötilan säätö	1	10	0,1	0
TIC-D01	D-säiliön lämpötilan säätö	1	10	0,1	0
TIC-E01	E-säiliön lämpötilan säätö	1	100	0,1	0
TIC-F01	KV-akun lämpötilan säätö	1	100	0,1	0
TIC-G01	Keittimen vaipan lämpötilan säätö	1	100	0,1	0

Mittauspiirit	Kuvaus	FILT
LI-A01	A-säiliön pinnankork. mittaus	1
LI-B01	B-säiliön pinnankork. mittaus	1
LI-C01	C-säiliön pinnankork. mittaus	1
LI-D01	D-säiliön pinnankork. mittaus	1
LI-E01	E-säiliön pinnankork. mittaus	1
LI-F01	Kuumavesiakun pinnank. mittaus	1
LI-K21	Keittimen pinnankork. mittaus	1
PI-E01	E-säiliön paineen mittaus	1
PI-G01	Keittimen vaipan paineen mittaus	1
PI-K21	Keittimen paineen mittaus	1
TI-A01	A-säiliön yläpään lämpötila	1
TI-A02	A-säiliön alaosan lämpötila	1
TI-B02	B-säiliön lämpötila	1
TI-K21	Keittimen yläpään lämpötila	1
TI-K22	Keittimen alaosan lämpötila	1
TI-K23	Lipeäkierukan ylälämpötila (tulo)	1
TI-K24	Lipeäkierukan alalämpötila (lähtö)	1

Kaikissa säätö ja mittauspiireissä HYS = 0.03, HYS on hystereesi, eli mittauksen täytyy palata 3 % verran hyväksytystä alueesta häytysrajojen sisäpuolelle, jotta rajojen ylityksestä syntynyt hälytystila voi kuittaantua.

Kaikilla säätölohkoilla lohkoparametri mod on 2 ja DER (derivoinnin hidastusvakio) on 0, eli derivointia ei käytetä.

Normaali lohkojen ajosyklin kesto on noin sekunti

Ylä- ja alahälytysparametrit näkyvät mittauslaatikosta. Erityisesti lämpötilojen alahälytysarvoksi on syytä jättää ajojen jälkeen 0, jottei synny turhia hälytyksiä.



Positio	LI-A01	LI-B01	LI-C01	LI-D01	LI-E01	LI-F01	LI-K21
Skaalaus 20 mA	26	26	16	16	60	220	181
Skaalaus 4 mA	0	0	0	0	0	40	-122
Jakaja	1	1	1	1	1		
Kerroin 1	1	0,9676	0,762	0,591	1,6561		
Vakio 1	0	0,085	0,19	0,083	-7,2818		
Kerroin 2	1,4399	1,823	1,3717	1,3728	1		
Vakio 2	-2,99	-0,677	-0,3779	-0,806	-4,8		
Kerroin 3	1	1,1347	0,9036	0,67	1		
Vakio 3	0	10,109	5	7,61	-4,8		
Raja 1	2	0,2	0,05	0,15	5		
Raja 2	2	0,891	0,931	1,138	70		
Raja 3	25	15,67	11,489	11,975	70		
Alaleikkaus							0
Yläleikkaus							150

Kaikissa pinnanmittauksissa virtaviesti 4 - 20 mA skaalataan ensin pinnanmittausalueelle. Säiliöissä A - E skaalattu arvo voidaan jakaa nesteen "tiheysarvolla" (vedellä 1). Näin saatu arvo muutetaan kalibrointisuorien avulla vastaamaan todellista litramäärää. Kalibrointisuoria käytetään, koska mitattu pinnankorkeus ei korreloi kaikissa säiliöissä suoraan tilavuuden kanssa. Jos jaon tuloksena saatu arvo on mes, niin tilavuusarvo a saadaan seuraavasti:

mes < Raja 1

=> a = 0

Raja 1 < mes < Raja 2

=> a = mes \* Kerroin 1 + Vakio 1

Raja 2 < mes < Raja 3

=> a = mes \* Kerroin 2 + Vakio 2

mes > Raja 3

=> a = mes \* Kerroin 3 + Vakio 3

Keittimen yläosan pinnankorkeusmittauksessa skaalaamalla saadusta arvosta leikataan välin alaleikkaus - yläleikkaus ulkopuoliset arvot pois, siten että jos skaalattu arvo on yli yläleikkausarvon, tulee mitatuksi pinnankorkeudeksi sama kuin yläleikkausarvo.



## **SYRJÄYTYSKEITTÄMÖN YLEISOHJE**



## **SISÄLLYSLUETTELO**

<b>1</b>	<b>KEITTÄMÖN DOKUMENTOINTI JA OHJEISTUS</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>SYRJÄYTYSKEITTÄMÖN K2 KUVAUS</b>	<b>4</b>
2.1	Yleiskuvaus	4
2.2	Keittokori	6
2.3	Keittimen sisätilavuus	6
2.4	Venttiilit	6
2.5	Pumput ja pumppausnopeudet	7
<b>3</b>	<b>VIRTAUSKAAVIO JA SEN MERKINNÄT</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>SÄÄTÖJÄRJESTELMÄ</b>	<b>10</b>
4.1	Hätäseis-kytkin ja laitteiden turvakytkimet	10
4.2	Painemittaukset	11
4.3	Säiliöiden pinnankorkeuden mittaukset	11
4.4	Keittimen pinnankorkeuden mittaus	11
4.5	Mittaustietojen tallennus PC:lle	12
<b>5</b>	<b>KEITON VALMISTELUT</b>	<b>18</b>
5.1	Lipeiden täyttö säiliöihin	18
5.2	Keittoraportin täyttö	19
5.3	Windows-kellon tarkistus	19
5.4	Höyrynpaineen nosto	20
5.5	Vesi-, höyry-, typpi- ja paineilmalinjojen avaus	20
5.6	Tietokoneiden käynnistys, valvomo- ja sovellusasema	20
5.7	Kuumavesiakun lämmitys 200 °C:en	21
5.8	Keittimen vaipan vesimäärän säätö ja vaipan paineistus	21
5.9	Hakekorin täyttö	22
5.10	Keittimen kannen sulkeminen	22
<b>6</b>	<b>ERI KEITTOVAIHEIDEN SUORITUSOHJEITA</b>	<b>23</b>
6.1	Pinnankorkeuden säätö syrjäytyksissä	23



## 1 Keittämön dokumentointi ja ohjeistus

TKK:n uuden syrjäytyseräkeittämön dokumentointi ja ohjeistus koostuu seuraavista osista:

- Laitteiden asennus-, huolto- ja käyttöohjeet (laitevalmistajat).
- Kuumavesiakun paineastiakirja (paineastiarekisteriin kuuluva säiliö).
- Keittämön huoltokansio (tähän tulee huoltoaikataulu, typpipullojen vaihdot, tehdyt huollot, kuvaukset tehdyistä muutostöistä jne.).
- Keittoraporttikansio.
- Sääto- ja ohjausjärjestelmän dokumentointi (Honeywell).
- Laitteiston virtauskaavio (SciTech-Service/Ilkka Tuominen) ja muut periaatekaaviot.
- Laitteisiin ja venttiileihin kiinnitetyt virtauskaaviotunnukset, putkien suuntanuolet tms.
- Sellulaboratorion toimesta kirjoitetut ohjeet, joista esimerkkinä tämä yleisohje ja dokumenttiluettelo, missä on lueteltu kaikki d-asemalla säilytetyt ohjeet sekä uuden keittämön käyttöön liittyvät muut tiedostot (mittaustiedot yms.).

Tietokoneella olevia tiedostoja on mm:

Dokumenttiluettelo (kaikki ohjeet)	d:\keitin\ohjeet\doklue.xls
Tämä yleisohje:	d:\keitin\ohjeet\yleisohj\yleisoh3.doc
Keittosarjakohtaiset ohjeet, esim.	d:\keitin\ohjeet\keitot\superba\sbserge2.doc
Mittaustiedot:	d:\keitot\raportit\projektinimi\PPKKVVal.xls tai d:\keitot\raportit\projektinimi\KeittoN.xls
Multitrendinäytön ohje:	d:\keitin\ohjeet\hmx\multina2.doc
Keittoraporttilomake:	d:\keitin\ohjeet\pohjat\rappohj3.xls
DI-työ keittämöstä	d:\keitin\ohjeet\DI\Dityo.doc

Ohjeet on talletettu D-asemalle, koska siinä on vapaata muistitilaa ja se on käytössä myös prosessitietojen siirron aikana.

Lasikopin vasemmassa kaapissa hyllyillä on:

- Honeywellin toimittama ohjekansiosarja, kansiot 2, 3, 4 ja 5.
- Honeywellin toimittama tämän systeemin kuvaus kansiossa "TotalPlant ALCONT DOKUMENT Helsinki University of Technology Otaniemi".
- Edelliseen kansioon sijoitettu "TotalPlant Alcont GUS User Manual" - englanninkielinen valvomoaseman käyttöohje (käyttäjän ohje, muut Honeywellin ohjeet palvelevat lähinnä huollon ja järjestelmäkehityksen tarpeita).
- Pumppujen käyttöohjeet keltaisessa PUMPUT-kansiossa, paitsi P-K2 (=Lewa-pumppu), josta on oma kierrekansioesite.
- Sininen kansio - tietokoneella olevien ohjeiden (mm. tämän ohjeen) printit.
- Vihreä kansio, jossa on: Virtauskaavio, myöhemmin muutetut ohjauslohkot, listaukset ja kuvaukset lohkoista ja I/O-listaus.
- Ruskea Keittimen käyttö- ja huoltokansio.

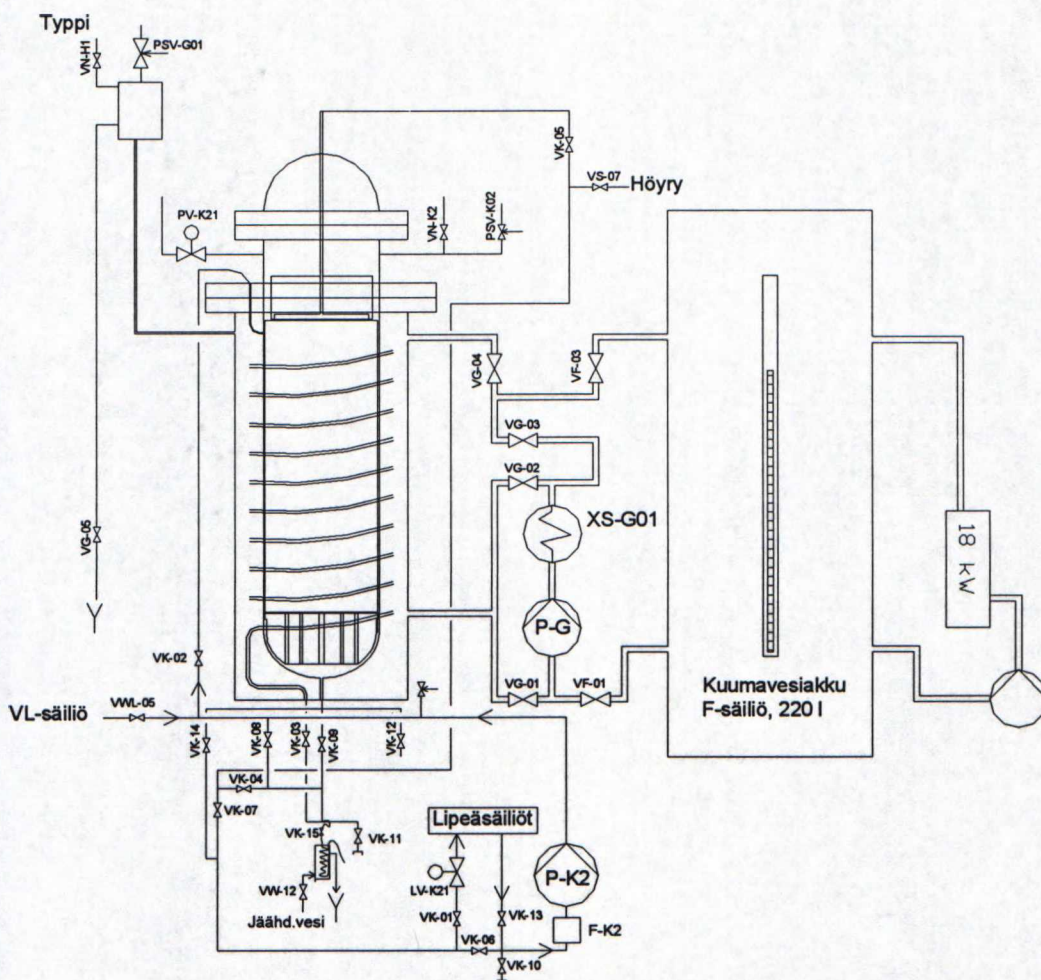


- Keltainen kansio keittoraportille (+liitteet).
- Muut valmistajien toimittamat käyttöohjeet (venttiilien säätö, levylämmönsiirrin, kuumavesiakun pinnankorkeusosoitin tms.) ovat hyllyssä lehtikotelossa.

## 2 Syrjäytyskeittämön K2 kuvaus

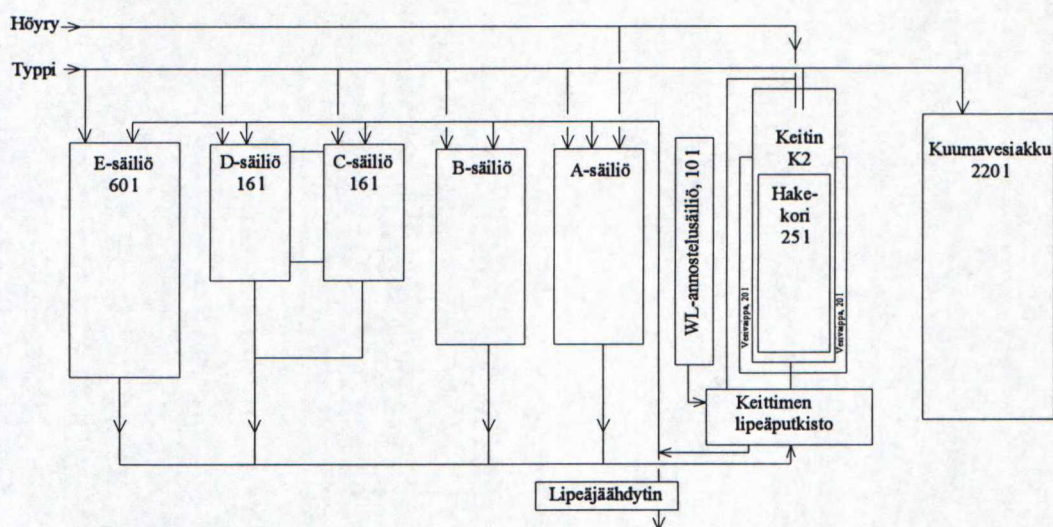
### 2.1 Yleiskuvaus

Kuvassa 1 on esitetty syrjäytyskeitin lipeäkiertoineen sekä keittimen lämmönsäätöjärjestelmä, Kuvassa 2 on taas kaikki keittonestesäiliöt kiertoineen, muttei lämmönsäätöjärjestelmää. Näitä periaatekuvia tarkemmin keittämön eri osat löytyvät keittämön virtauskaaviosta.



**Kuva 1.** Periaatekuva TTK:n syrjäytyseraikeittimestä ja sen lämmönsäätösystemistä.





**Kuva 2.** TKK:n syrjäytysrakeittämön lipeäsäiliöt ja keitin.

TKK:n syrjäytyskeittämön osat:

- Vesivaipallinen syrjäytyskeitin, minkä vesivaipassa kulkee lämmönvaihtokierukka.
- Keittimen vaipan lämmönsäätösystemi, mihin kuuluu mm. vaippaveden kiertolinja ja kiertolinjaan asennetut kiertopumppu (P-G) ja lämmönvaihdin (XS-G01) sekä kuumavesiakuu (HWA) ja sen lämmitykseen käytettävät pumppu (P-F01) ja 18 kW:n sähkölämmitin (XE-F01).
- Kiinteät liuos- ja kaasuputkistot (osa linjoista esitetty kuvassa 2), mitkä yhdistävät keittämön eri osat toisiinsa. Putkistoihin kuuluu mm. käsi-, vario-, takaisku- ja automaattiventtiileitä, mitkä mahdollistavat keittämön käytön turvallisesti ja monipuolisesti eri tutkimuskohteissa. Putkistoihin kuuluu myös kymmeniä vakiokoon liittimillä varustettuja ulosottoja eri käyttötilanteita varten.
- Keittimen mäntätoiminen kiertopumppu, P-K2.
- Valkolipeän annostelusysteemi, mihin kuuluu mm. mäntätoiminen VL-pumppu (P-WL) ja valkolipeän annostelusäiliö (WL) mitta-asteikkoineen.
- Lipeäsäiliöt (kuva 2), jotka toimivat niin varasto-, vastaanotto- kuin annostelusäiliöinä:
  - A- ja B-säiliöt (uusittavina),
  - C- ja D- säiliöt, n. 16 l/säiliö, yhteinen sekoituspumppu ja -linja, lämmitykset säiliöiden reunojen ja eristeiden väliin laitetuilla sähkövastuksilla,
  - E-säiliö, n. 60 l, lämmitys sen nestekiertoa sijoitetulla höyrylämmönvaihtajalla.
- Siirrettävä paineilmatoiminen pumppu, minkä avulla pystytään täyttämään helposti lipeäsäiliöt.
- Metallivahvisteiset painetta ja korkeita lämpötiloja kestävät irralliset teflonletkut, 4 kpl (pituuksiltaan noin 2, 3, 4 ja 10 metriä).
- Keittimeen laitettava 25 litran hakekori ja siirtolaite korin siirtämiseksi keittimeen ja sieltä pois, sekä teline korin tyhjennystä varten.
- Siirrettävä jäähdytin (vesijohtovedellä toimiva lamellijäähdytin).

Vaipallinen syrjäytyskeitin on 3-tilainen paineastia. Itse keitin sijaitsee sitä reunoista ja alapuolelta ympäröivän vesivaipan sisällä. Vesivaipassa kulkee useiden metrien



pituinen putkikierukka, joka toimii keittimeen tulevan liuoksen lämmönsäätäjänä. Keittimeen tuleva liuos saavuttaa kierukassa lämpötilan, mikä on hyvin lähellä vesi-vaipan lämpötilaa. Perinteiseen pakkokierto-keittimeen nähden vaipallisen syrjäytys-keittimen etuina ovat tulevan liuoksen tehokas ja tarkka lämmitys ja mahdollisuus pysäyttää liuoskierto ilman suurempaa vaikutusta keittimen lämpötiloihin. Tarkasti säädettävä mäntäpumppu mahdollistaa toistettavien hitaiden syrjäytysten teon.

Useiden liuossäiliöiden tarve johtuu uusista keittomenetelmistä. Esimerkiksi yhdessä keitossa voidaan käyttää kahta eri imeytymustalipeää, yhtä kuumamustalipeää, valkolipeää ja keiton lopussa puskuriliuosta ja ionivaihdettua vettä. Syrjäytyseräkeit-tämön säiliöiden määrä mahdollistaa näiden eri liuosten laittamisen valmiiksi säiliöihin odottamaan keittoa. Lamellijäähdytin mahdollistaa kuumista syrjäytyksistä poistuvien liuosten välittömän ohjauksen ulos keittosysteemistä esimerkiksi paineettomiin muoviasioihin, joissa liuoksia on kätevä säilyttää.

## **2.2 Keittokori**

Keittokorin massa on 8,96 kg, kannen kanssa 10,86 kg. Korin korkeus on 86,0 cm. Korin haketilan korkeus on 834 mm. Sisähalkaisija on 195,7 mm, näin ollen haketilan tilavuudeksi tulee 25,1 litraa. Raudan tiheys on 7,9 kg/l, joten korin teräsosien viemä tilavuus on 1,4 litraa.

## **2.3 Keittimen sisätilavuus**

Keittimen pinnanmittausalueen alapuolinen sisätilavuus ilman hakekoria on 29,3 l, tässä ei ole mukana lämmönvaihtokierukkaa, jonka tilavuus on yhdyslinjoinen 2,3 l. Lisäksi liuosta mahtuu putkistoihin ja lipeäpumpun suodattimeen 0,5 - 1 l. Koska hakekorin metallin viemä tilavuus on 1,4 litraa jää hakkeiden ja keittonesteen yhteis-tilavuudeksi noin 31-32 litraa pinnan ollessa noin 80 %.

Keittimen yläosan suuren tilan takia syrjäytyslämmityksessä, missä keittimen paine pidetään vakiona syrjäytysventtiiliä säätämällä, voi lisääntyvä vesihöyryn määrä työntää nestepintaa alemmaksi. Tämän takia erityisesti pienessä syrjäytyspaineessa tehdyissä lämmityksissä pinnankorkeus yleensä alenee syrjäytyslämmityksen aikana. Vesihöyryn määrän lisääntymistä keittimessä voidaan myös kompensoida kaasaa-malla keitintä, mitä ei DI-työn yhteydessä tehdyissä harjoituskeitoissa kokeiltu.

Vesi laajenee lämmitessään 20 asteisesta 170 asteeseen noin 10 prosenttia. Tämän takia perinteisen keiton jäljittelyssä keittimen nestepinta nousee keiton aikana. Esiko-kein kannattaa hakea oikea neste- ja hakemäärä, jotta halutulla neste-puusuhteella pinta olisi pinnanmittausalueella keitossa.

## **2.4 Venttiilit**

Käsi-venttiileistä keittimellä on käytössä lähinnä pallo- ja neulaventtiileitä. Neula-venttiilit sulkeutuvat kiertämällä niitä myötäpäivään. Palloventtiileissä kahva osoittaa aukiolon; venttiili suljetaan kääntämällä kahva linjaan nähden kohtisuoraan. Pallo-venttiilit voidaan myös lukita naulalla tms. kiinni, esimerkiksi lipeän ulosottokohdissa, koska vääräaikainen avaus voi johtaa vakaviinkin loukkaantumisiin.



Jos ei ole hyvää syytä pitää venttiiliä auki, se kannattaa pitää kiinni. Tämä koskee myös automaattiventtiilejä, joiden pitäisi käyttämättömänä olla suljettuina M-asennossa (M=manual, A=automatic). Vaikka keittimen käyttäjän kuuluukin varmistaa siirrettävän nesteen reitti oikeaan kohteeseen, ei välttämättä jokaista venttiiliä tule joka keittovaiheessa tarkastettua. Koko päivän (tai useamman päivän) työ voi mennä pilalle auki jääneen venttiilin takia.

Tämän keittämön käyttökokemuksiin perustuen voidaan palloventtiilien sanoa sulkeutuvan neulaventtiileitä luotettavammin. Kohteissa, joiden pitävyys on ehdottoman tärkeää ja joissa mahdollisia vuotoja ei pystytä helposti havaitsemaan, ei neulaventtiileitä tulisi käyttää. Neulaventtiileissä pitävyysoongelmat johtuvat usein liian tiukasta kiristyksestä, jolloin niiden tiivisteet voivat vaurioitua.

Paineastiat ja lämmitettävät putkistot on suojattu liian korkeaa ylipainetta vastaan mekaanisilla varoventtiileillä. Tavoitteena on kuitenkin toimia siten, etteivät varoventtiilit laukea muuten kuin niitä testattaessa.

## 2.5 Pumput ja pumppausnopeudet

Keittämöllä on käytössä viisi eri tavalla käytettävää lipeäpumppua ja kaksi identtistä keskipakopumppua vaippaveden kiertoa ja lämmitystä varten. Taulukkoon 1 on koottu keittämöllä käytetyt pumput toimittajineen.

**Taulukko 1.** Syrjäytyskeittämöllä käytetyt pumput

Pumppu	Kohde	Toimintatapa	Merkki & malli	Toimittaja
P-WL	Valkoliipeäsäiliö	Mäntäpumppu	Pulsar, 25 H	
P-K2 *	Keittimen liuoskierto	Taajuusmuuntajamäntäpumppu	LEWA EL-K-110V1	Johnson Pump Oy
P-CD *	CD-säiliöt	Taajuusmuuntajatoim. hammasrataspmp. magneettikytkimellä	Liquiflo H5FX6PEE300 00MCB-8	YTM-Industrial
P-E	E-säiliö	Magn. vetoinen keskipakopumppu	HMD, GT 15	YTM-Industrial
P-F	Kuumavesiakun lämmityskierto	Keskipakopumppu	Sihi	ABS pumput Oy
P-G	Keittimen vaipan lämmityskierto	Keskipakopumppu	Sihi	ABS pumput Oy
P-AB**	AB-säiliöt	Hihnavetoinen keskipakopumppu		
	Siirrettävä liuos-pumppu	Paineilmatoiminen kalvopumppu	Wilden P 025	

\*Kummassakin käytetään ABB:n taajuusmuuttajaa, malli ACS 300

\*\*Poistettu säiliöiden mukana keittämöstä

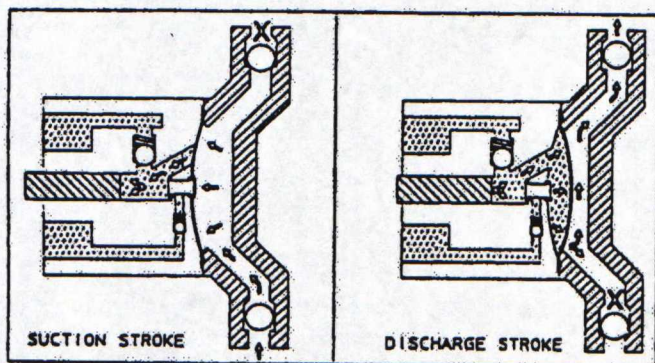
### 2.5.1 Mäntäpumput P-K2 ja P-WL

#### 2.5.1.1 Mäntäpumppujen toimintaperiaate

Keittämön mäntäpumput ovat yksisylinterisiä. Sylinterissä liikkuva mäntä siirtää pumppattavaa nestettä tai väliaineena toimivaa hydraulinestettä syrjäytysperiaatteella.



Pumppuun imu- ja painepuolelle liitetyt takaiskuventtiilit päästävät nestettä vain pumppausuuntaan, mikä varsinaisesti mahdollistaa pumppauksen. Kuvassa 3 on esitetty mäntäpumpun (P-WL) toimintaperiaate. Männän syrjäyttävä liike siirtyy pumpussa P-WL hydraulikkaöljyn välityksellä joustavalle kalvolle, minkä liike varsinaisesti pumppaa keittonestettä.



**Kuva 3.** Pumpun P-WL toimintaperiaate.

Valkolipeäpumpun sisäiseen rakenteeseen kuuluu hydraulijöjynpaineen laukaisema varoventtiili (kuva 3). Kiertolipeäpumpuun ei kuulu varoventtiiliä, minkä takia pumpun painepuolelle on asennettu varoventtiili. Pumppausvaiheissa paine voi nousta suuremmaksi kuin varoventtiilin laukeamispaine. Tätä on pyritty ehkäisemään asentamalla mäntäpumpujen painepuolelle putkimainen, aluksi täynnä kaasua oleva, n. 30 ml:n paineentasaustila.

#### 2.5.1.2 Mäntäpumpujen pumppausnopeudet

Mäntäpumpuilla käytetyn iskunpituuden ja pumppaustaajuuden muutokset muuttavat pumppausnopeutta lineaarisesti, jos imu- ja painepuolen paineet ovat riittävän suuret, esimerkiksi 5 baaria. Lipeän kiertopumpulla P-K2 pumppausnopeutta säädetään muuttamalla iskunpituutta välillä 0 - 20 mm ja taajuusmuuntajan säätöarvoa välillä 20 - 100 %. 20 % alempien taajuuksien käyttö on estetty ylikuumenemisriskin takia. Valkolipeäpumppu toimii vakiotaaajuudella; siinä pumppausnopeutta voidaan säätää vaihtelemalla iskunpituutta säätöarvoilla 0 - 100 %. Iskunpituuden ja pumppaustaajuuden muutokset ovat mahdollisia myös pumppauksen aikana. Virtausnopeuden lineaarista riippuvuutta säätöarvoista voidaan kuvata seuraavilla kaavoilla:

$$V_{WL} = 1,15 \text{ l/min} * (L_{WL} - 5,5 \text{ \%})/100 \text{ \%}, \quad (1)$$

$$V_{K2} = 0,3654 \text{ l/min} * L_{K2}/\text{mm} * F_{K2}/100 \text{ \%}, \quad (2)$$

missä  $V_{WL}$  ja  $V_{K2}$  ovat pumppausnopeudet pumpuilla WL ja K2,  $[V_{WL}] = \text{l/min}$   
 $L_{WL}$  ja  $L_{K2}$  ovat säädetty iskunpituudet,  $L_{WL}$  on 0 - 100 %,  $L_{K2}$  on 0 - 20 mm  
 $FK2$  on P-K2 taajuusmuuntajan säätöarvo, 0 - 100 %

Yhtälöiden 1 ja 2 mukaan maksimipumppausnopeudet usamman baarin painetta vastaan olisivat P-WL:llä 1,09 l/min ja P-K2:lla 7,3 l/min. P-K2:n maksimipumppausnopeutta voi rajoittaa edellämainittu varoventtiilin avautuminen korkeilla vastapaineilla.



Pienillä vastapaineilla virtausnopeudet eivät ole kuitenkaan suoraan verrannollisia pumppausnopeuteen tai iskunpituuksiin, vaan virtausnopeus on samoilla pumppausnopeuksilla ja iskunpituuksilla suurten vastapaineiden pumppausta suurempi. Toisaalta pumppausnopeus voi olla myös laskennallista alhaisempi, jos imupuolella oleva neste kiehuu imuvaiheen aikana (pumppu kavitoi) pumpattavan nesteen korkean höyrynpaineen tai imupuolen säiliön alhaisen paineen takia.

Pumppujen epälineaarinen toiminta pienillä vastapaineilla voidaan selittää seuraavasti: Jos imupuolen paine on korkeampi kuin painepuolen paine, niin pumppausnopeus on suurempi kuin laskennallinen nopeus. Tällainen tilanne voi tapahtua vaikka imupuolen säiliön paine olisikin alempi kuin painepuolen säiliön paine: Mäntäpumpun pumppaus on sykäyksellistä ja pumpun liikkeelle saamalla nesteellä on oma liikemääränsä, joten pumppausvaiheen lopulla neste ei välttämättä pysähdykään välittömästi, vaan virtauksen hidastuessa pumpun painepuolen paine voi laskea jopa imupuolen painetta alemmaksi, jolloin pumpun läpi virtaa laskennallista enemmän nestettä. Mäntäpumppujen venttiilithän mahdollistavat vapaan virtauksen aina silloin, kun painepuolen paine on imupuolen painetta alempi. Näin ollen virtaus voi tulla nimellistä virtausta suuremmaksi.

### 2.5.2 P-CD

P-CD on C- ja D-säiliöihin liitetty magneettivetoinen hammasrataspumppu. Pumpun korkean lämpötilankestovaatimuksen takia pumpun pesään on tehty lämpölaajenemisen salliva väljyyttä tuova erikoishionta. Tämän hionnan takia pumppausteho on alempi mitä käyttöohjeessa on esitetty. Pumppausnopeus on keskipakopumppujen tavoin selvästi riippuvainen nostokorkeudesta. Maksimipaine-ero on 5,5 baaria virtaamalla 0 ja maksimivirtaama on 4 - 5 l/min.

## 3 Virtauskaavio ja sen merkinnät

Syrjäytyskeittimön virtauskaavioon on merkitty kaikki keittämön linjat, säiliöt, jne. Virtauskaavio on tehty CAD-yhteensopivalla ohjelmistolla, putkistomuutosten jälkeen on syytä päivittää kaavio vastaamaan todellista tilannetta. Virtauskaavion merkinnät on tehty yksiselitteisesti, eli jokaisella syrjäytyskeittämön toimilaitteella on toisistaan eroava merkintä.

Venttiilit on yleensä merkitty kahvastaan tai juurestaan virtauskaaviota vastaavalla tunnuksella. Useilla käsiventtiileillä virtauskaaviotunnuksen alku riippuu niiden sijainnista, esim. E-säiliössä tai siihen liitetystä putkistossa olevat venttiilit ovat VE-alkuisia. Muilla venttiileillä venttiilin tyyppi tai niissä virtaava aine määrää tunnuksen alkuosan. Osalla näistä sijoituskohde on merkitty tunnuksen loppuosaan, esimerkiksi VN-A1 on A-säiliön typpiventtiili.

Venttiilitunnusten alkuosat:

VA- - VE-:	säiliöt A-E
VF-:	kuumavesiakku
VG-:	keittimen vaippa
VK-:	keitin
VN-:	typpiventtiilit
VS-:	höyryventtiilit (käsitönnöt)



VW-:	vesiventtiilit
PSV-:	varoventtiilit
CV-:	takaiskuventtiilit
FV-:	lämmitysventtiilit (automaattiventtiili höyrylinjassa)
PV-:	kaasausventtiilit (automaattiventtiilit)
LV-:	syrjäytysventtiili (automaattiventtiili nestelinjassa)

Venttiilejä vastaavasti myös esimerkiksi sähkölämmittimillä, höyrylämmönsiirtimillä ja pumpuilla on vastaavat tunnuksot. Näillä paikkakirjain löytyy usein typpiventtiilien tavoin tunnuksen loppuosassa, esim:

P-F01:	Kuumavesiakun pumppu
XE-F01:	Kuumavesiakun sähkölämmitin
XS-AB:	Säiliöiden A ja B höyrylämmönsiirrin.

## 4 Säätojärjestelmä

Käytössä on Honeywellin ohjausjärjestelmä, mihin on koottu kaikki keittämässä käytetty mittaus- ja ohjauselektronikka. Kentältä (=keittimeltä) päin katsottuna "alimmaisena" ovat toimilaitteet (esim. automaattiventtiilit) ja anturit (esim. lämpötilan mittausanturi Pt100). Näiden jälkeen voivat tulla esimerkiksi mittauksissa antureihin integroituna tai erikseen kentälle asennettuna muuntimet, jotka muuntavat vastus- tai jännitemuotoisen viestin milliampeeriviestiksi (4 - 20 mA).

Seuraavana on prosessiaseman I/O-kortit ja prosessiasema (Honeywellin kaapissa). I/O-korteissa kentältä tulevat analogiset viestit (esim. milliampeeriviesti tai jännite 230 V/ 0V) muutetaan digitaalimuotoon (Input) ja prosessorilta kentälle lähtevät digitaaliviestit muutetaan analogiseen muotoon (Output). Prosessiasemaan on lisäksi kytketty mm. sovellusasema, valvomoasema ja hälytyskirjoitin.

Sovellusasema on olemassa säätojärjestelmän ohjelmointia ja käyttöönottoa varten, tässä TTK:n systeemeissä se toimii lisäksi PC-pohjaisena tiedontallennusasemana. Valvomoasema on keittimen kaikkien elektronisten laitteiden "käyttöliittymä", suurinäyttöinen tietokone (GUS-asema), jolla ohjataan kaikkia uuden keittämön laitteita ja jolle tehtyihin näyttökuviin tulee prosessista saatava mittautieto. Hälytyskirjoittimelle tulee tavanomaisten summerihälytysten lisäksi muita tietoja, kuten turvakytken päälläolosta, jne.

### 4.1 Hätaseis-kytkin ja laitteiden turvakytkimet

Hätaseis-kytkin sijaitsee pystysuorassa, WL-pumppua vastapäätä olevassa pilarissa. Se kytketään päälle painamalla sitä alaspäin ja vapautetaan kiertämällä. Hätaseis-kytkin on keittimen turvaväline - kun se on painettuna alas, pumput sammuvat, eivätkä käynnisty, sähkölämmittimiltä on virrat katkaistu ja automaattiventtiilit ovat yleensä suljettuina. Kytkimen painalluksen (ja vapautuksen) jälkeen automaattikäyttöiset laitteet ovat käsikäyttöasennossa (M-asento) kiinni. Vaaratilanteessa kytkin on syytä painaa alas, tämä on yleensä huomattavasti nopeampi toimenpide kuin oikeiden sulakkeiden ja turvakytken etsiminen. Ennen keittoa olisi hyvä testata kytkimen toimintaa, jotta se löytyisi mahdollisessa hätätilanteessa.



Jokaisella sähkölaitteella on myös oma turvakytin, joka katkaisee säätöjärjestelmästä riippumatta laitteelle tulevan sähkövirran. Huoltotöitä tehtäessä turvakytin on ehdottomasti käännettävä 0-asentoon (vaakasuoraan). Pumput (esim. WL-pumppu) voidaan sulkea valvomoaseman lisäksi myös laittamalla turvakytin 0-asentoon. Suljettaessa pumppu "vääraoppisesti" turvakytkimellä päästään tarkkaan pysäytyshekeen, vaikka ohjaustietokone olisikin etäämmällä.

#### 4.2 Painemittaukset

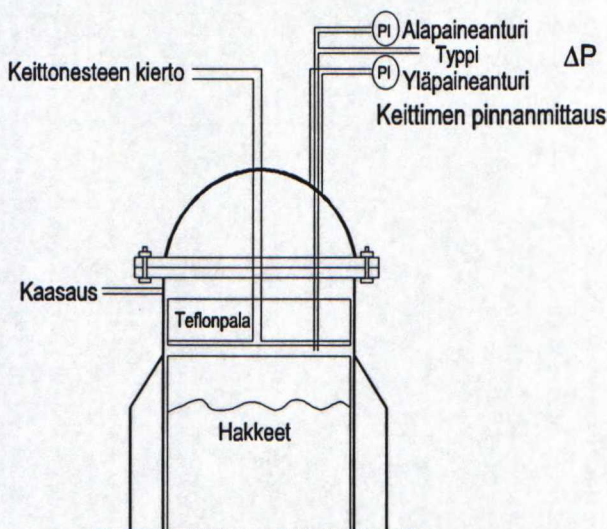
Kaikki keittämön painemittaukset ilmoittavat ylipaineen, alipainetilanteissa painelukema näytöllä on "0,0 bar". Mahdollinen alipaine on syytä huomioida erityisesti tyhjennyksiä tehdessä - säiliöissä voi olla paljonkin nestettä vaikkei avonaisesta tyhjennysventtiilistä tulisikaan mitään. Esimerkiksi kuumavesiaku vuotaa kuumana hieman vesihöyryä ja lauhtumattomia kaasuja mutta ei vuoda yleensä kylmänä, joten akkuun muodostuu keiton jälkeen todennäköisesti alipaine.

#### 4.3 Säiliöiden pinnankorkeuden mittaukset

Keittämön säätöjärjestelmään kytketyt tilavuusmittaukset perustuvat paine-erolähettimien käyttöön. Paine-eroanturit mittaavat mittausalueen ylä- ja alaosaan kiinnitettyjen paine-erolähettimien paine-eroa, mikä muutetaan järjestelmässä siihen ohjelmoitujen kalibrointiarvojen avulla vastaaviksi säiliön sisältämän nesteen tilavuuksiksi.

#### 4.4 Keittimen pinnankorkeuden mittaus

Keittimen pinnankorkeuden mittaus mittaa hakekorin yläpuolisen alueen nestepinnan korkeutta. Kuvassa 4 on esitetty pinnankorkeusmittauksen periaate. Keittimessä hakekorin yläpuolisen pinnankorkeuden mittaus käyttää kaasua välittämään pinnanmittauksen alaosaan paine varsinaiselle alapuolen painetta mittaavalle anturille. Toisin sanoen alapaineanturilta menee putki pinnanmittausalueen alaosaan, juuri hakekorin yläpuolelle. Tämä putki on tarkoitus pitää kaasua täynnä, eli jos nestettä kulkeutuu putkeen, putki tyhjennetään päästämällä siihen pieni määrä typpeä.



Kuva 4. Keittimen pinnankorkeuden mittaus



Kaasun välityksellä alapaineanturin mittaama paine on sama kuin paine teflonpalan alareunan korkeudella. Paine-erolähetin vertailee ala- ja yläpaineantureiden paine-eroa, joka muutetaan automaatiojärjestelmässä pinnankorkeuden prosenttiarvoksi. Jos keittimessä nousee paine, kun pinta on mittausalueella, niin kohonnut paine työntää nestettä pinnanmittausputkeen. Tällöin pinnanmittaus toimii virheellisesti, kunnes paineenvälityspotki tyhjenetään nesteestä typen avulla. Paineen laskutilanteessa ongelmaa ei tule, tällöinhän pinnanmittausputkessa oleva ylimääräinen kaasu pääsee vapaasti purkautumaan avonaisesta putken alaosaan. Pinnanmittausputki on siis tyhjennettävä nesteestä ennen pinnankorkeusarvon lukemista päästämällä typpeä paineenvälityspotkeen, jos paine on noussut keittimessä (merkittävästi).

Keittimen pinnanmittaus eroaa muista pinnanmittauksista siten, että siinä ilmoitetaan tilavuuden sijasta pinnankorkeus prosentteina maksimipinnankorkeudesta. Minimipinta (0 %) on hakekorin yläreunan korkeudella.

**Taulukko 2.** Keittimen yläosan tilavuuksista ja pinnanmittausten vesiajo 20.4.1999

Pinnanmittaus	Mitattu	Tilavuus/%	
( >100 % ):	7,65 l	44 ml/%	Kaasauslinjan yläpuolinen tila
(100 % - 76 %):	1,05 l	43,6 ml/%	Kaasauslinjan alaosa - Teflonpalan yläosa
(76 % -> 6 %):	0,19 l	2,7 ml/%	Teflonpalan alue (paitsi alaosa)
(6 % -> 0 %):	0,16 l	27 ml/%	Teflonpalan alaosa keskimäärin

Kuten taulukosta 2 nähdään pinnanmittaus on kalibroitu siten, että 100 %:n kohta on (nesteellä, jonka tiheys on 1 kg/m<sup>3</sup>) kaasauslinjan alaosassa. Keittäessä tavoitteena voisi pitää esimerkiksi pinta-aluetta 86 % - 77 %, eli alueen koko olisi noin 4 dl ja "kuollut tilavuus" olisi 0,4 - 0,8 l. Pinnanmittauksen ilmoitus on mahdollista muuttaa muiden pinnanmittausten tapaan kalibroitaisuorilla tilavuuspohjaiseksi.

**4.5 Mittaustietojen tallennus PC:lle**

Säätöjärjestelmä kerää mittauksista tietoa, jota voidaan tarkastella käytön aikana tarkasteluikkunan laajenteesta löytyvän trendikäyrän avulla. Trendikäyrän tiedot eivät kuitenkaan jää pysyväan muistiin, joten jos mittaustietoja halutaan käsitellä esim. Excelissä, niin ne täytyy siirtää sovellusaseman tiedonsiirtoprotokollan avulla PC-ympäristöön. Alla on esitetty vaiheittaiset ohjeet tiedonsiirrosta Exceliin ja tiedon käsittelystä Excellissä sekä uuden tiedonkäsittelypohjatiedoston luonnista.

**4.5.1 Tiedonsiirto Exceliin ja mittaustietojen käsittely Excelissä**

Tähän ohjeeseen liittyvät kuvat ovat ohjeen lopussa.

- 1. Käynnistetään lohkoselain** (Kaksoisklikkaus kuvaketta TotalPlan Design Module). Käyttäjätunnuksen (hmx) ja salasanan (hmx) annon jälkeen avautuu "Total-Plant Selain". (Kuva 5)
- 2. Avataan lohko PA1DATA**, eli kaksoisklikataan selaimen hakemistopuusta L1-kansion alapuolella olevaa Lohkot-kansiota, jolloin lohkoeditori käynnistyy (Kuva 6). Lohko PA1DATA löytyy hakemistopuusta kuvan 7 mukaisesti (L1->KEITTO1->PA1-> PA1DATA). Lohko PA1DATA avautuu kaksoisklik-



kaamalla sitä hiirellä tai Tiedosto-valikon alla olevalla käskyllä Avaa.

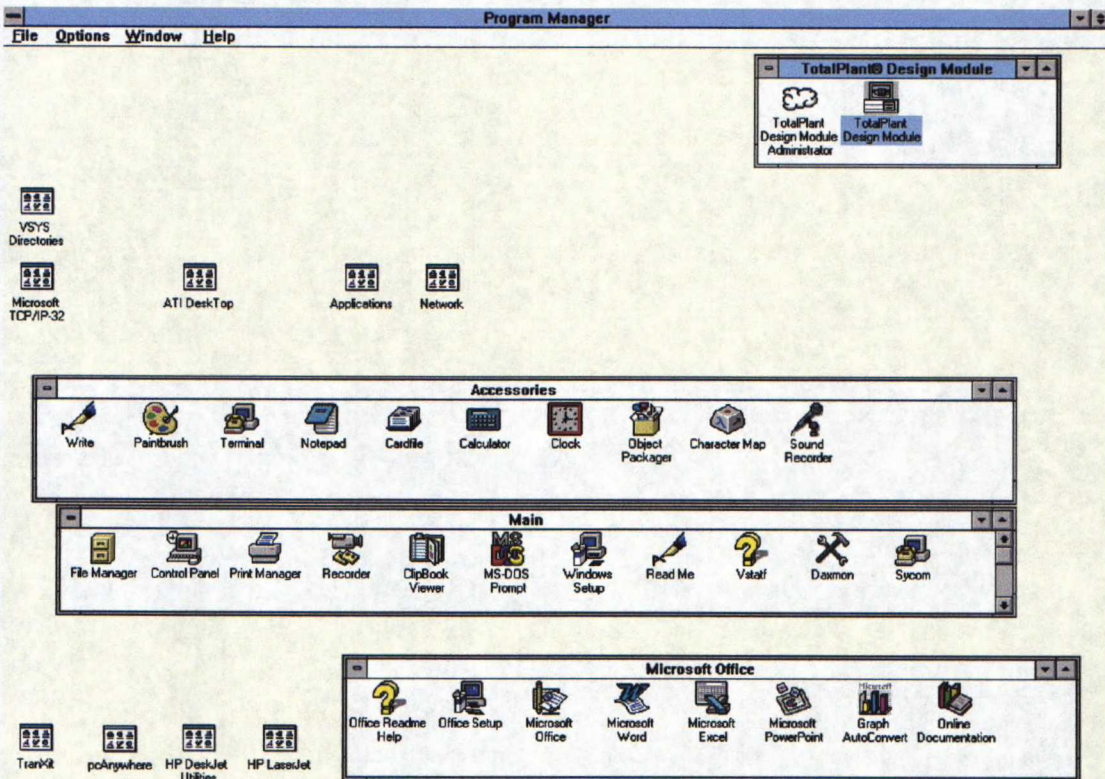
3. **Valitaan** Tiedosto -valikon alta **monitoroi**, jolloin järjestelmä siirtyy monitorointitilaan.
4. **Tuplaklikataan** lohkojen oikealla puolella olevaat **“out”-kohtaa** (Kuva 8), jolloin näkyviin tulee mittausarvot ja vasemmalle puolelle DOVEC-lohkosta tiedonsyöttölaatikko otsikolla “Arvokenttä : out”. (Lohkoja on lisätty kuvan 8 tekohetkestä 13. 4. 1998.)
5. **Valitaan kohta “Windows tiedonsiirto (DDE)”**, jolloin siihen tulee ruksi (kuva 9) ja painetaan OK-näppäintä, jolloin laatikko häviää ruudusta. **Huom!** Muuta 3. lohossa (H-tekijät) kentän leveydeksi 9! Neljännen (WL-pumpun käyntitieto) lohkon kyselyyn hyväksytään ehdotettu ylin vaihtoehto.
6. **Käynnistetään windowsista Excel-ohjelma** (siirtyminen Alt + tab) **ja talletetaan tiedosto nimellä, esim. D:\keitin\keitot\9909laur** (keittosarjan nimi)\ajo2409.xls. **Valitaan automaattinen tallennus** esim. 5 minuutin välein (Tools/Autosave). Valikkoon on laitettava ruksi kohtaan Automatic Save ja poistettava ruksi kohdasta Prompt Before Saving (Kuva 10).
7. Siirrytään takaisin lohkoeditoriin (Alt + tab riittävän monta kertaa). **Lohkoeditorista valitaan Kentät -valikon alta kohta Asetukset, minkä tiedonsyöttölaatikosta** (Kuva 11) **valitaan tiedonsiirto aktiiviseksi** klikkaamalla kohtaa “Aktiivinen”. Jos siirretään yksittäisiä mittauksia, valitaan myös kohta “Kaikki kentät”. **Tiedonsiirtolaatikosta tarkistetaan myös Päivitysväli** (15 sekuntia on useimmiten sopiva). Valinnat hyväksytään painamalla “OK”:ta, mikä käynnistää tiedonsiirron.

Tämän jälkeen kuvassa 12 näkyvät tiedot siirtyvät avoinna olevaan Excel-taulukkoon. Excelissä kannattaa välttää työskentelyä tiedonsiirron aikana, sillä esimerkiksi erillinen tallennuskomento on pyyhkinyt taulukon puhtaaksi aiemmista tiedoista (tämän takia Autosave).

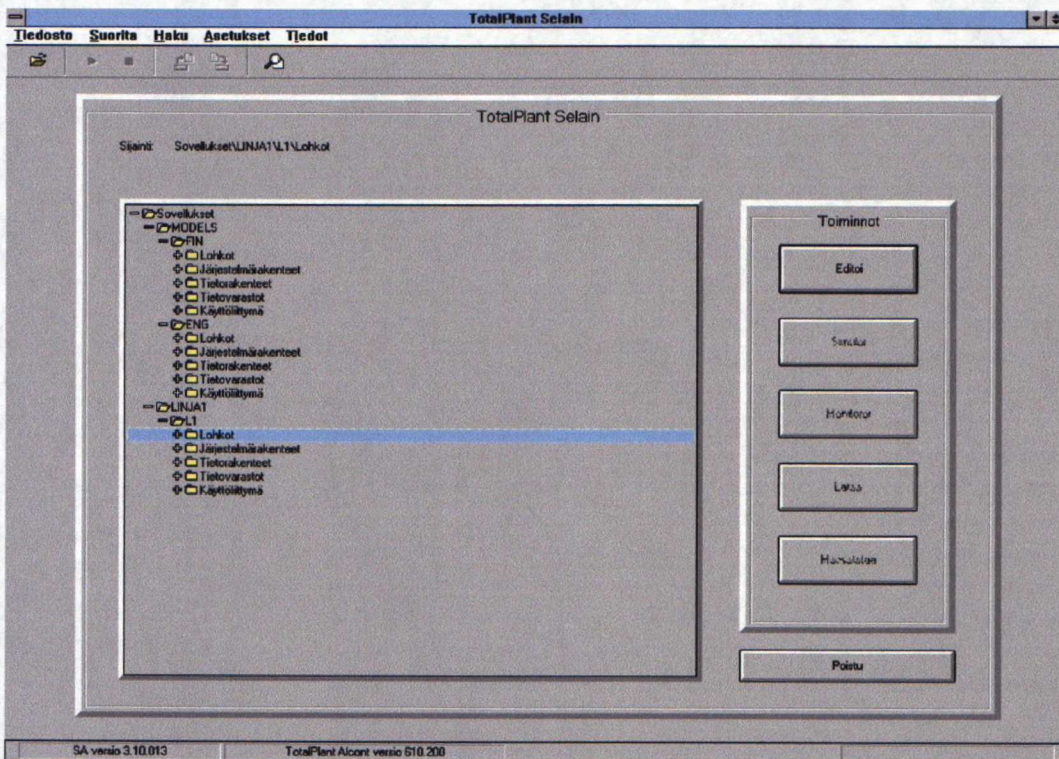
**Tiedonsiirto lopetetaan** poistamalla rastii “Asetukset”-laatikon kohdasta “Aktiivinen” ja “OK”. Mikäli tiedonsiirto valitaan uudelleen aktiiviseksi, niin tiedot kirjoittuvat uudelleen ensimmäiselle riville, jolloin Excel tiedostossa oleva tieto jää uuden tiedon alle.

**Lohkoselaimesta poistutaan Windowsiin** valitsemalla ensiksi monitorointilasta poistumiseksi ylävalikkokäskyn “Palaa”, minkä jälkeen Lohkoeditorista ja TotalPlan selaimesta poistutaan normaalien Windows-ohjelmien tapaan Tiedosto-valikon “Poistu”-käskyllä.



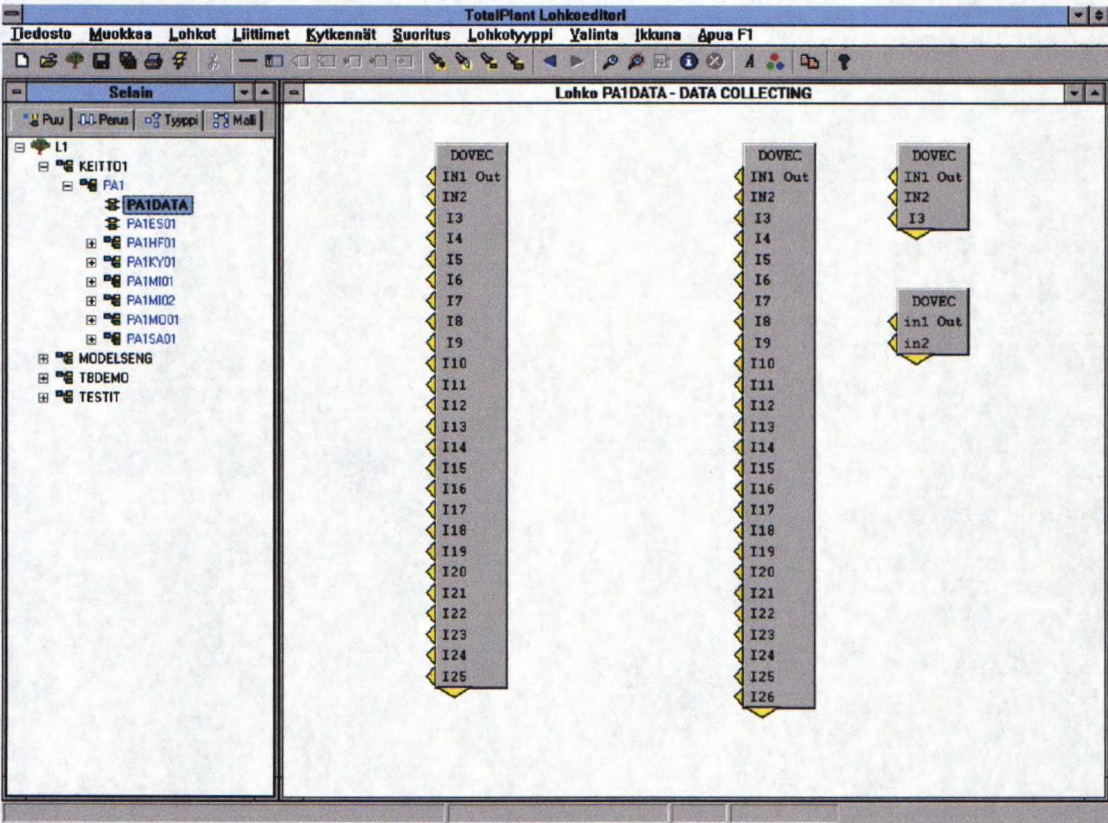


**Kuva 5.** Sovellusasemaohjelman ikoni Windows-valikosta. Ohjelma valitaan vaihtoehtoisesti tiedostonhallintaohjelmalla nimellä "c:\ac\_conf\prog\lmain100.exe".

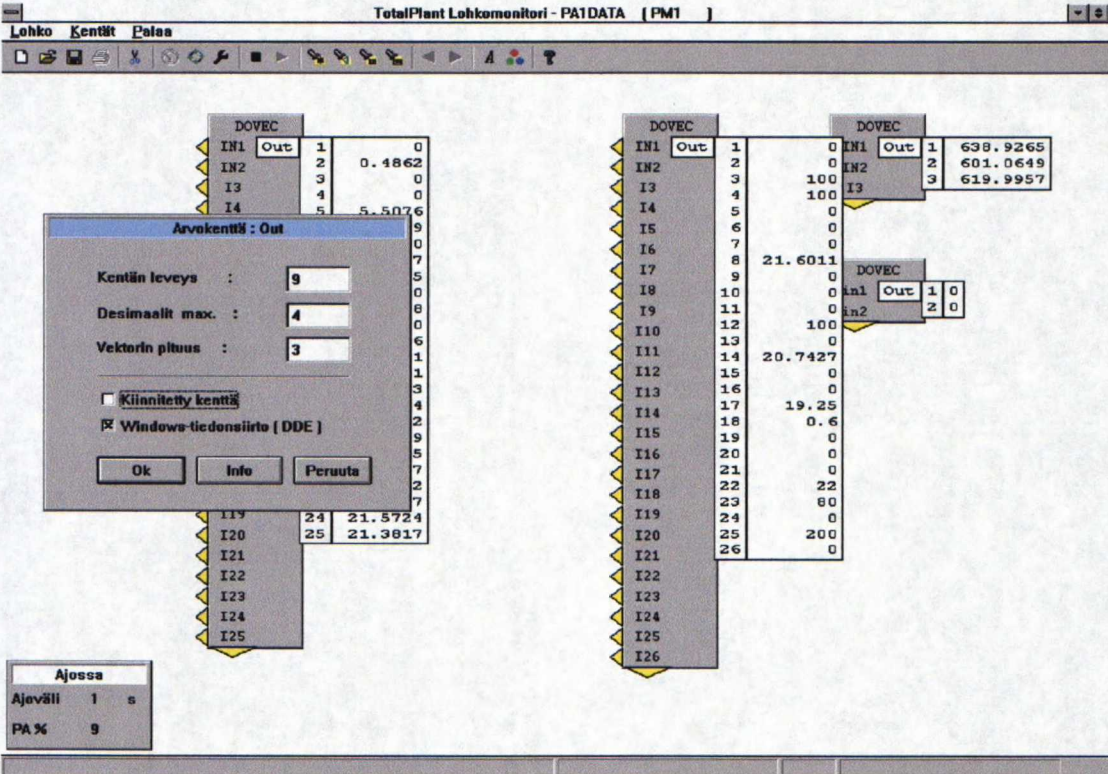


**Kuva 6.** TotalPlant Selain-ohjelman tiedostorakenne.



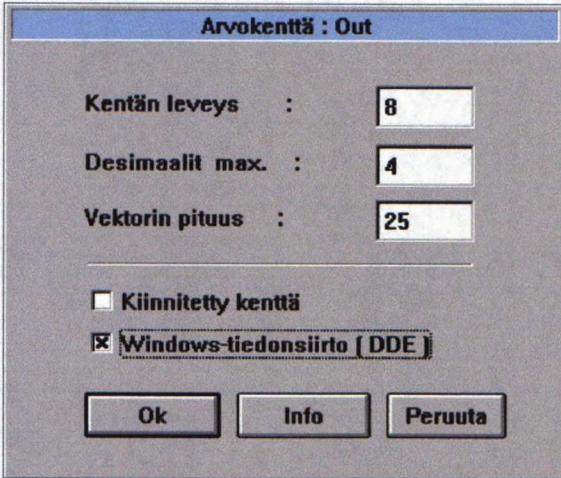


Kuva 7. Lohkon PA1DATA valinta



Kuva 8. Lohko PA1DATA monitorointilassa Dovec-lohkojen liittimet “Out” klikattuina aktiiviseksi. Ruudussa vasemmalla H-tekijöiden tiedonsiirtolohkon arvokenttälaatikko.





**Arvokenttä : Out**

Kentän leveys :

Desimaalit max. :

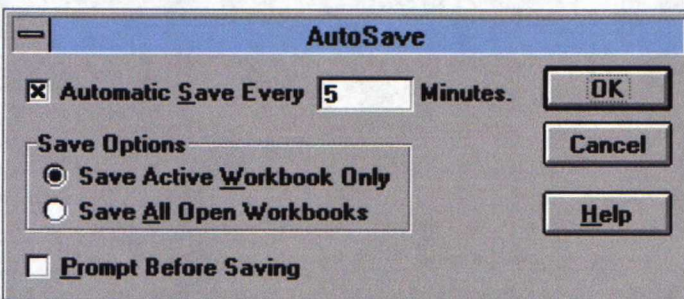
Vektorin pituus :

☐ Kiinnitetty kenttä

☒ Windows-tiedonsiirto (DDE)

Ok Info Peruuta

**Kuva 9.** Mittaustietojen (vasemmanpuolimmainen lohko) arvokenttälaitikko, josta on valittu Windows-tiedonsiirto (DDE).



**AutoSave**

☒ Automatic Save Every  Minutes.

Save Options

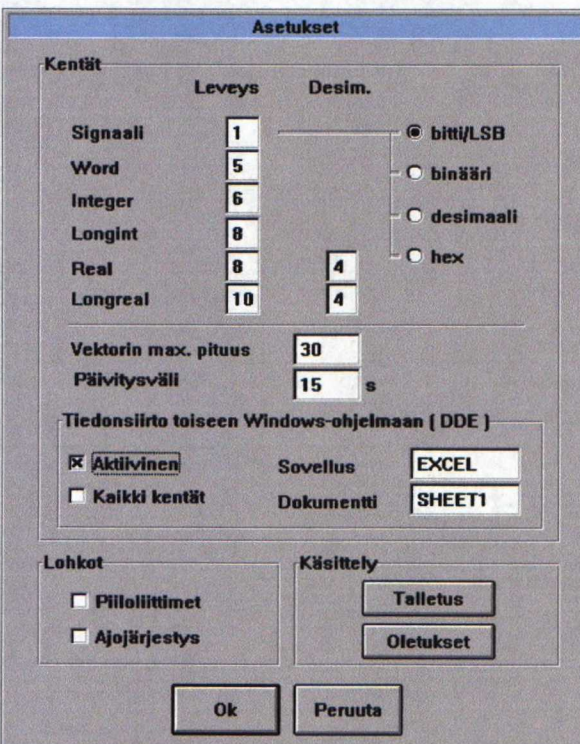
☒ Save Active Workbook Only

☐ Save All Open Workbooks

☐ Prompt Before Saving

OK Cancel Help

**Kuva 10.** Sopiva asetus Excel-ohjelman automaattiselle talletukselle.



**Asetukset**

Kentät	Leveys	Desim.
Signaali	<input type="text" value="1"/>	
Word	<input type="text" value="5"/>	
Integer	<input type="text" value="6"/>	
Longint	<input type="text" value="8"/>	
Real	<input type="text" value="8"/>	<input type="text" value="4"/>
Longreal	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="4"/>

Vektorin max. pituus

Päivitysväli  s

Tiedonsiirto toiseen Windows-ohjelmaan (DDE)

☒ Aktiivinen

☐ Kaikki kentät

Sovellus

Dokumentti

Lohkot

☐ Piiloliittimet

☐ Ajojärjestys

Käsittely

Talletus

Oletukset

Ok Peruuta

**Kuva 11.** Asetukset-tiedonsiirtolaatikko, josta tiedonsiirto Excel-ohjelmaan on valittu aktiiviseksi.



TotalPlant Leikkamonitori - PA1DATA (PM1)

Lohko Kentät Pala

DOVEC		
	Out	
LI-A01.MES	IN1	1 0
LI-B01.MES	IN2	2 0.4103
LI-C01.MES	I3	3 0
LI-D01.MES	I4	4 0
LI-E01.MES	I5	5 5.2081
LI-F01.MES	I6	6 161.0849
LI-K21.MES	I7	7 0
LI-K21.MES	I8	8 0.0267
LI-K21.MES	I9	9 0.0315
PIC-A01.MES	I10	10 0
PI-E01.MES	I11	11 10.0538
PIC-F01.MES	I12	12 0
PI-G01.MES	I13	13 287.5086
PI-K21.MES	I14	14 20.9907
TI-A01.MES	I15	15 21.6869
TI-A02.MES	I16	16 13.0369
TIC-B01.MES	I17	17 22.5738
TI-B02.MES	I18	18 22.5452
TIC-C01.MES	I19	19 21.5629
TI-C02.MES	I20	20 56.9162
TIC-D01.MES	I21	21 20.552
TI-D02.MES	I22	22 21.7918
TIC-E01.MES	I23	23 20.8381
TI-E02.MES	I24	24 21.5724
TIC-F01.MES	I25	25 21.2863
TI-F02.MES	I26	
TIC-G01.MES	I27	
TI-G02.MES	I28	
TIC-H01.MES	I29	
TI-H02.MES	I30	
TIC-I01.MES	I31	
TI-I02.MES	I32	
TIC-J01.MES	I33	
TI-J02.MES	I34	
TIC-K01.MES	I35	
TI-K02.MES	I36	
TIC-L01.MES	I37	
TI-L02.MES	I38	
TIC-M01.MES	I39	
TI-M02.MES	I40	
TIC-N01.MES	I41	
TI-N02.MES	I42	
TIC-O01.MES	I43	
TI-O02.MES	I44	
TIC-P01.MES	I45	
TI-P02.MES	I46	
TIC-Q01.MES	I47	
TI-Q02.MES	I48	
TIC-R01.MES	I49	
TI-R02.MES	I50	
TIC-S01.MES	I51	
TI-S02.MES	I52	
TIC-T01.MES	I53	
TI-T02.MES	I54	
TIC-U01.MES	I55	
TI-U02.MES	I56	
TIC-V01.MES	I57	
TI-V02.MES	I58	
TIC-W01.MES	I59	
TI-W02.MES	I60	
TIC-X01.MES	I61	
TI-X02.MES	I62	
TIC-Y01.MES	I63	
TI-Y02.MES	I64	
TIC-Z01.MES	I65	
TI-Z02.MES	I66	

DOVEC			DOVEC		
	Out			Out	
PIC-A01.CON	IN1		HF-K21.OUT	IN1	1 638.9265
PIC-F01.CON	IN2		HF-K22.OUT	IN2	2 601.0649
PIC-K21.CON	I3		HF-K2AVE.AVG	I3	3 619.9957
PIC-K22.CON	I4				
SIC-CD1.CON	I5				
SIC-K2.CON	I6				
TIC-B01.CON	I7				
TIC-B02.OUT	I8				
TIC-C01.CON	I9				
TIC-D01.CON	I10				
TIC-E01.CON	I11				
TIC-F01.CON	I12				
TIC-G01.CON	I13				
TIC-G02.OUT	I14				
PIC-A01.SET	I15				
PIC-F01.SET	I16	21.6869			
PIC-K21.SET	I17	0			
PIC-K22.SET	I18	0			
SIC-CD1.SET	I19	100			
SIC-K2.SET	I20	0			
TIC-B01.SET	I21	20.552			
TIC-C01.SET	I22	0			
TIC-D01.SET	I23	19.25			
TIC-E01.SET	I24	0.6			
TIC-F01.SET	I25	0			
TIC-G01.SET	I26	0			
	I27	0			
	I28	22			
	I29	80			
	I30	0			
	I31	200			
	I32	0			

Ajossa

Ajoväli 1 s

PA % 9



2. Rivi kopioidaan, minkä jälkeen alue, johon kopioidut rivit liitetään, valitaan pitämällä vaihto-näppäin pohjassa ja siirtymällä "Page Down"-näppäimellä (ja nuolinäppäimillä) taulukkoa alemmaksi. Tämän jälkeen painetaan rivin-vaihtonäppäintä (Enter), jolloin rivit kopioituvat.

6. **Talleta tämä tiedosto nyt nimellä d:\keitin\keitot\projekti\keittonn**, missä projekti on projektin tai sen tekijän nimi (esim. 9909laur) ja nn on juokseva keitonnumero. Jokaiselle keitolle kannattaa antaa juokseva keitonnumero, vaikka keitto olisikin kokeilutyyppinen tai vaikka se epäonnistuneena olisikin keskeytetty. Edellisen keiton numeron löytää keittoraporttikansioista olevasta viimeisen keiton keittoraportista.

Etukäteen määritelty keittokäyrän kuvaajan pitäisi löytyä lehdeltä "Yleiskuva". Tästä on hyvä ottaa tulostus ja laittaa se keittoraportin liitteeksi keittoraporttikansioon. Huomioi, että esimerkiksi Y-akselien skaalausta tai käyrien ulkoasuja voidaan muokata melko helposti.

#### 4.5.3 Uuden mittaus-tietokäsittelytiedoston luonti

Valmiiksi tehdyssä keitto.xlt-pohjassa on esimerkiksi maksimikeittoaika, mikä näkyy yhdessä kuvassa rajoittunut kuuteen tuntiin. Jos jossain projektissa haluttaisiin esimerkiksi esittää 10 tunnin keittoajan yleiskuvia, olisi järkevintä luoda tätä projektia varten oma .xlt-päätteinen mittaus-tietojen käsittelytiedosto. Näin mm. kuvaajien asetuksista tulee luotettavimmin samat. Uusi mittaus-käsittelytiedosto luodaan keitto.xlt-tiedoston pohjalta seuraavasti.

- **Avaa keitto.xlt** painamalla avauksen yhteydessä **vaihto-näppäintä**.
- **Talleta tiedosto uudella nimellä** (esim. keitto.xlt) ja tee muutokset.
- Erityisesti jos uusi tiedosto osoittautuu jatkokäyttöäkin ajatellen hyödylliseksi, niin **liitä se d:\keitin\doklue.xls dokumenttiluettelotiedostoon**, jotta se löytyisi myöhemminkin vastaavien kokeiden käyttöön.

## 5 Keiton valmistelut

### 5.1 Lipeiden täyttö säiliöihin

Ennen valkolipeän annostelua, on annostelusäiliö ja valkolipeäpumppu syytä huuhdella annosteltavalla lipeällä. Valkolipeää kannattaa myös kierrättää pumpulla etukäteen annostelusäiliössä, jotta pumpun pesästä poistuisi mahdollinen ilma. Pumpun pesässä oleva ilma voi nimittäin estää pumppauksen korkeaan vastapaineeseen. Valkolipeän määrä katsotaan annostelusäiliön asteikosta.

Annosteltavat mustalipeät tai pesuliuokset pumpataan valmiiksi haluttuihin säiliöihin. Paineastioiden kaasausventtiilit pidetään normaalisti pumppauksen ajan auki työturvallisuuden ja pumppausnopeuden maksimoimiseksi. Näin vähennetään myös hapen määrää säiliöissä pumppauksen jälkeen. Jos ilman hapesta halutaan päästä lähes kokonaan eroon, voidaan happi poistaa esimerkiksi "typpihuuhtelulla", eli paineistamalla säiliö tyypellä kolmeen kertaan 4 baariin ja päästämällä paine pois paineistusten



jälkeen, jolloin happipitoisuus laskee murto-osaan alkuperäisestä 0,3 g/l:sta. Typpihuuhdellulla säiliöllä ei kaasausventtiiliä voida pitää auki, kuitenkin kaasausventtiiliä voidaan raottaa pumppauksen aikana siten, ettei säiliön paine nouse korkeaksi.

Lipeät voidaan pumpata säiliöihin jo ennen keittopäivää. Tällöin mm. mustalipeitä kannattaa kierrättää pumpulla jonkin aikaa ennen käyttöä, koska säiliöissä seistessään mustalipeästä on taipumusta erottua suopaa pinnalle ja kolloidisia aineita voi laskeutua lipeän pohjalle. Erityisesti mustalipeitä kierrätettäessä ja lämmitettäessä on syytä paineistaa säiliö muutaman baarin typpipaineeseen vaahdonmuodostuksen hillitsemiseksi. Vaahtamisen takia lipeän kierrätys kannattaa lopettaa jonkin verran ennen keittimeen annostelua.

Jos lipeä annostellaan säiliöistä paineellisena (kaasausventtiili kiinni), on hyvä jos säiliössä on ennen annostelua riittävän suuri kaasutila, eli paineellisissa annostuksissa säiliöiden pitäisi olla reilusti annosteltavaa lipeämäärää suurempia. Tämä vähentää tarvetta lisätä annostuksen aikana typeä säiliöihin.

## **5.2 Keittoraportin täyttö**

Erityisesti monivaiheisissa keitoissa keittoraportti kannattaa täyttää mahdollisimman täydellisesti, jotta muistiinpanojen tekoon kului mahdollisimman vähän aikaa ja kiireessä täytetyistä muistiinpanoista tulisi kuitenkin luettavia. Lisäksi esitetyt keittoraportti toimii tärkeänä muistilappuna, eli keiton kulun ohjeistuksena. Keitossa syntyneet poikkeamat keitto-ohjelmasta merkitään keittoraportin 'Huomautukset'-kohtaan. Keittämön huoltokansio tulisi olla esillä ja siihen tulisi merkitä keiton aikana havaitut vuodot tms. mahdollisimman pikaisesti, sillä useamman tunnin keiton jälkeen tarkastelua vaativat pikkuviat voivat unohtua helposti.

Keittoraporttiin on syytä merkitä etukäteen tunnetut vaihe- ja kellonajat. Tämä helpottaa keiton suoritusta merkittävästi. Keiton aikana työt (näytteenotot, pumppauksen aloitukset, jne.) pyritään tekemään vähintään minuutilleen oikealla hetkellä. Keiton edetessä voidaan korjata viivästyksistä tms. syistä johtuneet aikojen muutokset, jos raportti on täytetty lyijykynällä. Keiton lopussa käytetyt keittoraportit laitetaan keittoraporttikansioon, missä niitä säilytetään aikajärjestyksessä (keittomerojärjestyksessä). Jokainen uusi keitto tai käsittely, josta tehdään keittoraportti saa oman keittomumeronsa, vaikka käsittely olisi mennyt pieleenkin.

## **5.3 Windows-kellon tarkistus**

Ajankohdat keitossa katsotaan sovellusasemalta (esim. Windows-kellon avulla) ja merkitään keittoraporttiin minuutin tarkkuudella. Aika katsotaan sovellusasemalta, jotta tiedontallennuksen ja keittoraportin ajat vastaisivat mahdollisimman hyvin toisiaan. Ajantarkastus kannattaa tehdä aina ennen keittoa ja oma sekä tietokoneen kello kannattaa säätää käymään samaa aikaa! Sovellusasemalta löytyy Window'sin kello-ohjelma, minkä avulla kellonajan (ja päiväyksen) saa näkymään koko ruudun kokoisena.



## 5.4 Höyrynpaineen nosto

Sopiva kattilan höyrynpaine voi olla esim. 14,0 bar. Paineen tarve riippuu nostonopeudesta, maksimilämpötilasta ja siitä, käytetäänkö kuumavesiakkua nostossa apuna. Höyryn paine säädetään kattilalta, säädön voi tehdä kattilasta vastaavat henkilöt, mm. Kari Lohi, tai talon huoltomies Jorma Kajander (tai Kajanderin luvalla myös muut). Korotettu höyrynpaine on syytä alentaa heti käytön jälkeen ja etenkin viikonlopuiksi normaaliksi. Kattilan varoventtiili tai/ja varorele on joskus lauennut viikonloppuina, kun höyrynpaine on ollut korkea. Korkeista paineista on syytä erikseen keskustella kattilasta vastaavien kanssa. Höyrynpaineen korkean arvon näkee painemittarista, joka on pakkokiertokeittimen yläpuolella olevassa vaakasuorassa linjassa. Kattilan höyrynpaine on syytä merkitä ainakin ensimmäisiin keittoraportteihin.

## 5.5 Vesi-, höyry-, typpi- ja paineilmalinjojen avaus

Veden pääventtiili VW-01 on vanhan keittimen ririlätason ja seinän välissä (kiin-toavain kahvana). *Tätä pidetään yleensä auki.* Tämän takana on sekä vanha että uusi keitin.

Höyryn pääventtiili on pystysuorassa putkessa hakkeiden imeytysastian puoleisen seinän vieressä (pyöreä kahva). *Tämäkin on normaalisti auki.* Aukiolon näkee luotettavasti venttiilin karasta. Venttiili vuotaa hieman, joten höyrynpainemittarista ei suoraan näe onko venttiili auki tai kiinni. Myös vanha keitin ja imeytysastia on tämän venttiilin ”takana”, eli venttiiliä ei ole syytä sulkea, jos näillä on jotain toimintaa.

Keittimellä 2 on oma typpipullo, jossa on avattava venttiili ja paineenalennusventtiili. Sopiva typen paine on keittopaineesta riippuen noin 10 - 15 baaria. Näiden jälkeen on pääventtiili VN-01, minkä voi avata myös valmiiksi. Typpipullo, tai ainakin venttiilin VN-01, on järkevää sulkea öiksi, sillä laaja typpilinjasto voi vuotaa hieman.

Keitinsysteemistä paineilmaa käyttävät Honeywellin ja Badgerin venttiilit, keittimen kannen nosturi sekä siirrettävä paineilmapumppu.

- Venttiileille on yhteinen päähana ja kaksi paineensäädintä. Vasemmanpuoleisesta säätimestä paineilma menee Honeywellin venttiileille, *vanhalle keittimelle ja imeytysastiaan.* Tämän paine pitäisi olla 3 baaria. Oikeanpuoleisesta säätimestä ilma menee uusille Badgerin venttiileille, tämänkin paine on 3 baaria.
- Painesäätimien oikealla puolella on kannen nosturin paineilma-venttiili (vipu). Vivun kahva kertoo palloventtiilien tapaan aukiolosta (linjan suuntaisena auki). Venttiiliä avattaessa ja suljettaessa se ”sihahtaa”, mikä kuuluu asiaan.
- Lasikopin vieressä, jauhimen takana on paineilmatoimisen siirrettävän kemikaalipumpun venttiili ja paineensäädin. Pumpulle sopiva käyttöpaineen taso on 4 - 7 baaria, 7:llä baarilla (käyttöohjeen mukainen maksimipaine) melutaso ja teho on suurimmillaan.

## 5.6 Tietokoneiden käynnistys, valvomo- ja sovellusasema

Valvomoasema, eli keittimen ohjaukseen käytetty isoruutuinen tietokone, käynnistetään normaalisti koneen virtakytkimestä. Aseman näytöllä on oma virtakytkin, joten kannattaa tarkistaa ennen käynnistystä onko pelkästään näyttö suljettu!



- Asema hakee käynnistettäessä automaattisesti prosessin ohjausohjelman. Ensimmäisessä valikossa kysytään osastoa, hyväksytään koneen ehdottama "L1 KEITTO1".
- Näytön yläosassa olevista pikanäppäimistä valitaan sinisellä värillä merkattu avain, josta aukeenee käyttäjävalinta (TEEKKARI / TUTKIJA). Käyttäjäksi valitaan tutkija.
- Pikanäppäimistä toisena vasemmalta on vaakasuoran lehden kuva. Tästä voidaan valita haluttu sivu, esim "101 - DIGESTER AND HWA". Sivuilta (lukuunottamatta sivua 110) on myös omat pikanäppäimet edelliseen ja seuraavaan sivuun.
- Sivut 108 - 110 ovat multitrendinäyttöjä. Niiden avulla voidaan keiton aikana tarkkailla erillisiä mittauksia paremmin säiliöiden pinnanmuutoksia, etc. Multitrendinäyttöjen käytöstä on olemassa oma ohje.

Sovellusasemaa tarvitaan keitossa tiedon tallennukseen. Sovellusasema voi olla kytkettynä **joko** Honeywellin järjestelmään **tai** TTK:n verkkoon, eli TTK:n verkkoon kytkeytyminen estää Honeywellin sovelluksen käytön. Windows käynnistetään siksi komennolla "WIN/N". Jos Windows on avattu "WIN"- komennolla, niin se jumittuu silloin, kun yritetään avata sovellusohjelmaa.

## 5.7 Kuumavesiakun lämmitys 200 °C:en

Sopiva akun pinta kylmänä on noin 175 l, sillä veden lämpölaajeneminen nostaa akun pintaa lämmityksen aikana jopa 15 % (kts. taulukkokirja). Akun pinnan ylälukitusraja on 210 l, minkä jälkeen sitä ei voi lämmittää. 175 litraa vettä lämpiää pelkästään sähkölämmittintä käyttäen kahdessa ja puolessa tunnissa 20 asteesta 200 asteeseen.

Akku lämmitetään 18 kW sähkölämmittimen avulla. Käynnistä ensin akun oikealla puolella (lasikopin suunnasta katsottuna ja kuvaruudulta) oleva pumppu (P-F01). Käynnistä sitten sähkölämmittimen kytkimestään (klikkaa lämmittimen kuvaa) ja valitse M-asennon (käsikäyttö) tilalle A-asento (lämpötilasäädinkäyttö). Sen jälkeen valitse lämpötilansäädöstä (klikkaa akun lämpötilanäyttöä) haluttu lämpötila ja muuta lämpötilan säädin A-asentoon.

### 5.7.1 Kuumavesiakun lämmityksen nopeutus tarvittaessa

Ennen varsinaista keittoa voi akun lämmitystä nopeuttaa käyttämällä samanaikaisesti sekä keittimen vaipan höyrylämmittintä että akun sähkölämmittintä. Jos akkua lämmitetään pelkästään sähköllä, niin venttiilien VF-01 ja VF-03 tulee olla kiinni. Höyrylämmityksessä taas venttiilien VG-01, VG-02 ja VG-04 tulee olla kiinni, kun taas venttiilien VF-01, VG-03 ja VF-03 tulee olla auki. Avaa myös höyryventtiili VS-08. Höyrylämmitystä ei voi käyttää kuitenkaan silloin kun keittimen vaippaan lisätään vettä.

## 5.8 Keittimen vaipan vesimäärän säätö ja vaipan paineistus

Vaipan paisuntasäiliön vesimäärän tarkistusta ei tarvi tehdä ennen jokaista keittoa, kuitenkin se tulisi tehdä aina, jos paisuntasäiliön vesi- ja kaasumäärästä ei voida olla varmoja. Vesimäärän tarkistuksessa varmistetaan, että vaippa on täynnä vettä ja että paisuntasäiliössä on varmasti jokinkokoinen kaasutila. Tarkistukseen on seuraava ohje:



1. Tarkista, että venttiilit VF-01, VF-03, VF-04 ja VG-02 ovat kiinni ja että venttiilit VG-01, VG-03 ja VG-04 ovat auki.
2. Raota varovasti vesivaipan paisuntasäiliön venttiiliä VG-05. Jos paisuntasäiliössä on vettä, niin pidä venttiiliä VG-05 raotettuna auki kunnes venttiilistä tulee kaasua. Lisää tarvittaessa (varovasti) tyhjentymisen nopeuttamiseksi typeä venttiilistä VN-H1.
3. Päästä paisuntasäiliö paineettomaksi kaasusta.
4. Kun paisuntasäiliö on paineeton ja tyhjä, sulje venttiili VG-05 ja paineista paisuntatila vesijohtovedellä (typen säästämiseksi) 2 - 3 baarin paineeseen.
5. Nosta tämän jälkeen tarvittaessa vaipan paine 5-10 baariin päästämällä typeä paisuntasäiliöön. Vaipan painetta kannattaa nostaa typellä, jos kuumavesiakkua käytetään keitossa.

### 5.9 Hakekorin täyttö

Esimerkiksi mäntyhakkeille sopiva täyttömäärä on 4 - 5 kg kuivaa puuta. 5 kg:n täyttö vaatii tiivistystä. Tiivistys kannattaa suorittaa siten, että keittokoriin laitetaan (tasaisesti) 2 -3 litraa haketta kerrallaan, jonka jälkeen sitä varovasti tiivistetään taputtelemalla tiivistimellä (nuijalla). 2-3 litraa haketta vastaa noin 10 cm hakekorkeutta ( $2,5/(3,14 \cdot 0,978^2)$  dm = 2,5/3,008 dm = n. 8 cm). Tiivistyksen tavoitteena on estää erityisesti holvautumien synty ja saada hakkeet korissa lappeelleen murskaamatta kuitenkaan hakkeita. Sopiva täyttömäärään riippuu puulajista, hakepalakokojakaumasta ja halutusta neste-puusuhteesta.

Mikäli hakkeet näyttävät vievän hieman liian suuren tilan, voi hakekorin "tiputtaa" 10 - 20 cm korkeudelta puualustalle, jolloin hakkeet pakkautuvat liikemäärän säilymisen vaikutuksesta jonkin verran. Keittimen ylälämpötila-anturia varten on jätettävä noin 5 cm syvyinen tila hakekorin kannen keskireiän kohdalle. Tämän voi tehdä ruuvimeiselillä tms. korin ollessa jo keittimessä.

### 5.10 Keittimen kannen sulkeminen

Kannen nostolaite toimii paineilmalla, minkä venttiili on kiinni nostolaitteen telineen pystysuorassa tolpassa. Kantta nostettaessa avataan ensiksi paineilma, sitten kansi voidaan nostaa nopeimmin käsin avustamalla. Kannen lasku tapahtuu siten, että paineilmaventtiili suljetaan sulkemisohteen mukaisesti. Hakekorin kanteen on tehty lämpötila-anturin ohjainsuppilo, minkä tarkoituksena varmistaa anturin ohjautuminen kannen anturiaukkoon.

#### Kannen sulkemisohtje:

1. Tarkista, että keittimen ja kannen laipat ovat puhtaat ja että keittimen laipassa oleva tiiviste on kokonaan urassaan.
2. Nosta kansi ylös avaamalla kannen nosturin paineilmaventtiiliä 0,3 - 2 kierrosta ja nostamalla sitä tarvittaessa myös käsin. Kannen mahdollinen heilunta yläasennossaan ei pitäisi vahingoittaa rakenteita, kuitenkin kantta ei pitäisi jättää pitkäksi aika yläasentoon.



3. **Siirrä kansi keittimen yläpuolelle vääntämällä nostotangossa olevasta vivusta.**
4. **Tarkista, että kansi on likimain oikeassa asennossaan.** Kanteen tussilla piirretyt nuolet (2 kpl) tulevat kohdakkain vastaaviin ohjaintappien nuoliin nähden, kun kansi lasketaan alas.
5. **Anna kannen laskeutua alas** sulkemalla paineilmaventtiiliä. Kansi alkaa laskeutua muutaman sekunnin kuluttua venttiilin sulkeutumisen jälkeen ja laskeutuu omalla painollaan. Sopivasti venttiiliä sulkemalla saat kannen laskeutumaan hitaasti. Kannen lasku on helpompi suorittaa kun se laskeutuu hitaammin.
6. **Ota ylhäältä nostorautoista kiinni ja ohjaa teflonpala keittimen sisään. Älä pidä kantta laskiessasi kiinni sen alareunasta - sormien puristumisvaara!**
7. **Ohjaa ja heiluttele kantta sen alareunan ohittaessa ohjaintapit.** Jos kansi jää ohjaintappien päälle "makaamaan", niin avaa uudelleen kannen nosturin paineilmaventtiiliä ja laske kansi uudelleen alas. Älä työnnä ohjaustappien varaan jäänyttä kantta pois ohjaustappien päältä, koska tällöin keittimeen kohdistuu voimakas isku.
8. **Laita ensin kaikki kannen pultit liukuavaimella heikosti kiinni, kiristä sitten ne kohtuullisella tiukkaan.** Voit tarkastaa kannen tiiveyden päästämällä sinne typpeä, kun keittimestä poistuvat linjat (ml. kaasaus) on kiinni. Paine nousee havaittavasti pienehkölläkin typen määrällä.

## 6 Eri keittovaiheiden suoritusohjeita

### 6.1 Pinnankorkeuden säätö syrjäytyksissä

Syrjäytyksissä sisään tulevan nesteen nopeus määritetään mäntäpumppujen asetuksilla. Keittimen paine pidetään vakiona syrjäytysventtiilin avulla. Kaasutilavuuden ollessa pieni pysyy keittimen sisällön määrä pidetään likimain vakiona pitämällä keittimessä oleva paine vakiona. Paineen vakiona pito hoidetaan syrjäytysventtiilin avulla



PUS-00

TEKNILLINEN KORKEAKOULU  
Puunjalostustekniikan osasto  
Kirjasto